



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI

NASHRUL MA'ALI
NRP. 3112030121

Dosen Pembimbing
Ir. EDY SUMIRMAN, MT
NIP. 195812112 198701 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI

NASHRUL MA'ALI
NRP. 3112030121

Dosen Pembimbing
Ir. EDY SUMIRMAN, MT
NIP. 195812112 198701 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2017



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

DESIGN OF MICRO HYDRO POWER PLANT KEPUNG KEDIRI DISTRICT

**NASHRUL MA'ALI
NRP. 3112030121**

**Dosen Pembimbing
Ir. EDY SUMIRMAN, MT
NIP. 195812112 198701 1 001**

**DIPLOMA III CIVIL ENGINEERING
DEPARTEMENT CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATION
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2017**

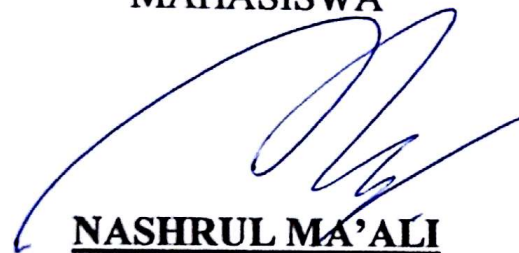
LEMBAR PENGESAHAN
"PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN
KEDIRI"

TUGAS AKHIR


Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Pada
Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

MAHASISWA


NASHRUL MA'ALI
NRP. 3112030121

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :


DOSEN PEMBIMBING
LE. EDY SUMIRMAN, MT

02 AUG 2017

NIP. 195812112 198701 1 001

Surabaya, Juli 2017



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 19 Juli 2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Kepung, Kabupaten Kediri		
Nama Mahasiswa 1	Nashrul Ma'ali	NRP	3112030121
Nama Mahasiswa 2	-	NRP	-
Dosen Pembimbing 1	Ir. Edy Sumirman, MT NIP 19581212 198701 1 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
1. Perbaiki. Bagan. Urutan. Peta. Untuk. Diklas. Masukan	 Dr. Ir. Suharjoko, MT NIP 19560119 198403 1 001
2. Rincian. Bagan. Y. Bicarakan. Sensus. Untuk. Y. Spilid	
1. Perbaikan head → sket	 Dr. Ir. Kuntjoro, MT NIP 19580629 198703 1 002
2. Perbaikan daya → rumus	
3. Instalasi bangunan sipil dan operasi	 Ir. Edy Sumirman, MT NIP 19581212 198701 1 001
and day	
1. Cengkeram. Gambar. G. ukuran. dan. elektro.	 Ir. Ismail Sa'ud, MMT NIP 19600517 198903 1 002
2. Jelaskan. Orbit. G. dipencat. Y. PLTMH. dan. Ketersedian. Irigasi.	
- Perbaiki. head. turbin.	 Dwi Indriyani, ST. MT 19810210 201404 2 001
- label. dan. rumus. yg. digunakan. dan. anet. 9.	
- Perbaiki. cover, label, dan. daftar. pustaka.	

PERSETUJUAN HASIL REVISI				
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4	Dosen Penguji 5
Dr. Ir. Suharjoko, MT NIP 19560119 198403 1 001	Dr. Ir. Kuntjoro, MT NIP 19580629 198703 1 002	Ir. Edy Sumirman, MT NIP 19581212 198701 1 001	Ir. Ismail Sa'ud, MMT NIP 19600517 198903 1 002	Dwi Indriyani, ST. MT 19810210 201404 2 001

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Ir. Edy Sumirman, MT	



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 NASHRUL MA'ALI 2
NRP : 1 (3112030121) 2
Judul Tugas Akhir : Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)
Kepung Kabupaten Kediri
Dosen Pembimbing : Ir. EDY SUMIRMAN, MT

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1	23-5-2017	Perbaiki Debit + desain		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	26-5-2017	Koreksi desain		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	31-5-2017	Perbaiki format		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	1-6-2017	Lengkapi Gambar		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	5-6-2017	Lengkapi Referensi rumus		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal

PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI

Nama Mahasiswa : Nashrul Maali
NRP : 3112030121
Dosen Pembimbing : Ir. Edy Sumirman, MT
NIP : 195812112 198701 1 001

ABSTRAK

Daerah Kepung kabupaten Kediri merupakan salah satu daerah yang potensial untuk dibangun PLTMH. Hal yang mendukung pendapat ini adalah letak daerah Kepung yang tak jauh dari waduk Siman dan dialiri sungai Seringjig yang merupakan outlet dari pintu waduk Siman. Serta keadaan topografi daerah Kepung yang terjal membuat daerah ini mempunyai head yang merupakan komponen penting PLTMH.

Perancangan PLTMH Kepung dilakukan dengan memanfaatkan bangunan PLTMH lama yang masih ada. Bangunan lama tersebut kemudian didesain ulang sehingga dapat menampung debit yang ada saat ini. Serta pemilihan turbin yang lebih tepat diharapkan dapat menunjang dayaangkit PLTMH.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa PLTMH Kepung mempunyai debit andalan $1.65 \text{ m}^3/\text{detik}$ serta head 2.56 m. Dengan daya yang mungkin dibangkitkan adalah sebesar 29.87 kW.

Kata kunci : "PLTMH, debit, tinggi jatuh, daya".

DESIGN OF MICRO HYDRO POWER PLANT (PLTMH) KEPUNG KEDIRI DISTRIC

Student Name : Nashrul Maali
NRP : 3112030121
Academic Supervisor : Ir. Edy Sumirman, MT.
NIP : 195812112 198701 1 001

ABSTRACT

Kepung district Kediri regency is one of the potential areas for PLTMH to be built. The thing that supports this opinion is the location of Kepung area not far from the reservoir of Siman and streambed by the river Seringjig which is the outlet of the door of Siman Dam. As well as the topography of the rugged area of Kepung make this area has a head which is an important component of PLTMH.

The design of PLTMH Kepung is done by utilizing the old PLTMH building that still exist. The old building is then redesigned so it can accommodate the current discharge. And the selection of a more appropriate turbine is expected to support the power of MHP scheme.

The results of this study indicate that PLTMH Kepung has a main discharge of 1.65 m³ / sec and 2.56 m head. The power that may be raised is 29.87 kW.

Keywords: “Micro Hydro Power Plant, current, head,energy”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada kehadiran Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya dalam menyelesaikan Tugas Akhir Terapan dengan judul “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI”. Tugas akhir terapan ini merupakan salah satu syarat kelulusan bagi seluruh mahasiswa dalam menempuh pendidikan pada program studi Diploma Tiga Teknik Sipil Fakultas Vokasi ITS.

Kami ucapkan terima kasih atas segala bimbingan, arahan dan bantuan dari :

1. Allah S.W.T
2. Kedua orang tua kami yang selalu memberikan motivasi dan doa.
3. Ir.Edy Sumirman, MT. selaku dosen pembimbing tugas akhir terapan.
4. Rekan – rekan kuliah ITS serta semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Saya menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir Terapan ini masih terdapat kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, saya mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun demi terciptanya hasil yang lebih baik.

Surabaya , Juli 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Maksud dan Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat.....	3
1.5.1 Bagi Mahasiswa	3
1.5.2 Bagi Instansi Pemerintah terkait	4
1.5.3 Bagi Masyarakat	4
1.6 Gambaran Umum Lokasi Penelitian	4
1.6.1 Letak	4
1.6.2 Kondisi Hidrologi	6
1.6.3 Sosial Ekonomi	6
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 PLTMH.....	7
2.1.1 Klasifikasi PLTMH.....	8
2.1.2 Prinsip Kerja PLTMH.....	9
2.1.3 Cara Pengambilan Air.....	11
2.2 Pemilihan Lokasi PLTMH.....	12
2.2.1 Debit Air	12
2.2.2 Kondisi Geologis Dan Keadaan Air.....	13
2.2.3 Faktor Sosial Dan Ekonomis.....	13
2.3 Debit.....	14
2.4 Erosi dan Sedimentasi	15
2.5 Tinggi Jatuh Air (<i>Head</i>)	17
2.6 Pipa Pesat (<i>Penstock</i>)	18

2.6.1 Material	19
2.6.2 Diameter <i>Penstock</i>	20
2.6.3 Tebal <i>Penstock</i>	21
2.7 Turbin	22
2.8 Perhitungan Daya dan Energi	23
2.9 Bangunan Sipil PLTMH	24
2.9.1 Bangunan Pengambilan	24
2.9.2 Saluran Pengarah	25
2.9.3 Bak Pengendap	26
2.9.4 Rumah Pembangkit	28
2.9.5 <i>Trashrack</i>	30
BAB III METODOLOGI	31
3.1 Umum	31
3.2 Persiapan	31
3.3 Survey Lapangan	31
3.4 Studi Literatur	32
3.5 Pengumpulan Data	32
3.6 Pengolahan Data	32
3.6.1 Analisa Keadaan <i>Topografi</i>	32
3.6.2 Analisa Data Debit Sungai Serinjing	33
3.7 Diagram Alir Metodologi (<i>FlowChart</i>)	35
3.8 Jadwal Kegiatan Penyusunan Tugas Akhir	36
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Analisa Kondisi Existing	37
4.2 Analisa Debit Andalan	40
4.3 Analisa Tinggi Jatuh Air (Head)	45
4.4 Perancangan Bangunan Pengambilan	46
4.5 Perancangan Bak Pengendap	48
4.6 Perancangan <i>Penstock</i>	51
4.6.1 Perancangan Dimensi <i>Penstock</i>	52
4.6.2 Tebal dan Material <i>Penstock</i>	52
4.6.3 Kehilangan Energi	52
4.7 Pemilihan Turbin	53
4.8 Perhitungan Daya dan Energi	54

4.9 Operasional PLTMH	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Letak sungai Serinjing terhadap waduk Siman skala 1:12000	5
Gambar 2. 1 Contoh tabel dan grafik FDC	15
Gambar 2. 2 Sketsa penggunaan theodolit.....	18
Gambar 2. 3 Diagram Aplikasi Berbagai Jenis Turbin Terhadap Head Dan Debit	23
Gambar 4. 1 Kondisi existing bangun bendung.....	37
Gambar 4. 2 Kondisi existing bangunan pengambilan	38
Gambar 4. 3 Kondisi existing bak penenang	38
Gambar 4. 4 Kondisi existing rumah pembangkit	39
Gambar 4. 5 Kurva durasi aliran.....	44
Gambar 4. 6 Sketsa tinggi jatuh.....	45
Gambar 4. 7 Layout PLTMH.....	47
Gambar 4. 8 Bak pengendap.....	49
Gambar 4. 9 Grafik pemilihan turbin.....	54
Gambar 4. 10 Grafik daya terbangkit per bulan	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data debit bulanan pintu waduk Siman	34
Tabel 4. 1 Perhitungan debit andalan.....	42
Tabel 4. 2 Tabel koefisien kehilangan energi akibat belokan	53
Tabel 4. 3 Hasil perhitungan daya per bulan	56
Tabel 4. 4 Tabel perhitungan daya bulanan.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan listrik dewasa ini terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi, penambahan jumlah penduduk, dan pertumbuhan pembangunan. Berdasarkan data Perusahaan Listrik Negara terjadi peningkatan kebutuhan daya listrik nasional sebesar 8,5 % per tahun. Peningkatan ini jika tidak diikuti dengan penyediaan pembangkit listrik dapat berpotensi menyebabkan terjadinya krisis energi listrik yang pada akhirnya dapat mempengaruhi pertumbuhan ekonomi nasional. Hal tersebut dikarenakan kebutuhan energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok tidak hanya untuk masyarakat tetapi juga untuk perusahaan-perusahaan yang menjadi salah satu pihak penggerak pertumbuhan ekonomi nasional.

Indonesia adalah negara yang memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang melimpah, diantaranya yaitu angin, surya, air, *geothermal* dan *biomassa*. Untuk sumber daya air, Indonesia memiliki potensi besar berdasarkan kondisi *geografis* Indonesia yang mempunyai banyak sungai dan bentuk *topografi* yang terdiri dari bukit-bukit. Salah satu daerah yang cukup potensial adalah daerah Kepung Kabupaten Kediri, tepatnya di desa Brumbung. Daerah tersebut merupakan daerah pegunungan terletak di dekat waduk Siman dan termasuk dalam wilayah DAS sungai Brantas.

Sebenarnya di daerah Kepung pernah dibangun PLTMH namun sekarang sudah tidak difungsikan dan keadannya sudah rusak. Pembangunan PLTMH Kepung yang terletak di Desa Brumbung Kecamatan Kepung Kabupaten Kediri dilaksanakan pada tahun 1975 dan diresmikan pada tahun 1976.

PLTMH Kepung awal pembangunannya menggunakan generator *Syncron* dengan kapasitas daya 40 kW. Karena adanya program listrik masuk desa pada tahun 1992, PLTMH Kepung berhenti beroperasi. Sedangkan aset yang berupa peralatan

pembangkit beserta jaringan telah dilelang. Dan aset berupa bangunan sipil mulai mengalami kerusakan.

Bekas jaringan PLTMH Kepung sebagian masih bisa dimanfaatkan. Diantaranya adalah bangunan pengambilan, bak penenang dan lokasi rumah pembangkit. Bangunan tersebut masih bisa digunakan karena lokasi tersebut cukup stabil dan debit dari waduk Siman tidak banyak mengalami perubahan.

Faktor utama yang mempengaruhi produktifitas PLTMH adalah debit dan *head* pada aliran tersebut. Dengan *head* kotor yang mencapai 5 m lokasi tersebut berpotensi untuk dibangun PLTMH. Faktor lainnya adalah ketersediaan bahan bangunan, mudahnya akses jalan dan beberapa faktor lainnya menjadikan daerah Kepung layak didirikan PLTMH yang kedepannya diharapkan dapat dimanfaatkan penduduk setempat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Berapa besar debit andalan yang digunakan PLTMH?
2. Berapa tinggi jatuh efektif PLTMH?
3. Bagaimana desain *penstock* yang digunakan?
4. Bagaimana jenis turbin yang dipilih?
5. Berapa besar daya dan energi yang dihasilkan PLTMH?
6. Bagaimana desain bangunan sipil PLTMH?

1.3 Maksud dan Tujuan

Maksud dan tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Dapat mengetahui besar debit andalan yang digunakan PLTMH.

2. Dapat mengetahui tinggi jatuh efektif PLTMH.
3. Dapat membuat desain *penstock* yang digunakan dalam PLTMH.
4. Dapat mengetahui jenis turbin yang dipilih.
5. Dapat mengetahui besar daya dan energi yang dihasilkan PLTMH.
6. Dapat mengetahui desain bangunan sipil PLTMH.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Kekuatan bahan mekanis tidak dibahas dalam tugas akhir ini.
2. Tidak memperhitungkan faktor bencana alam sehingga turbin bekerja dengan ideal.
3. Sungai yang digunakan sebagai sumber debit PLTMH adalah sungai Serinjing.
4. Kondisi curah hujan tidak diperhitungkan.
5. Tidak menghitung struktur bangunan.
6. Analisa ekonomi tidak dibahas dalam tugas akhir ini.

1.5 Manfaat

1.5.1 Bagi Mahasiswa

Untuk mengaplikasikan ilmu yang telah didapatkan pada saat kuliah dan berfikir ilmiah tentang pengembangan sumber daya air. Serta untuk dapat mengembangkan potensi serupa di lokasi lain.

1.5.2 Bagi Instansi Pemerintah terkait

Sebagai bahan masukan dalam pengembangan PLTMH Kepung serta dapat mengembangkan potensi PLTMH di kawasan lain.

1.5.3 Bagi Masyarakat

Diharapkan masyarakat setempat dapat lebih tertarik dengan pemanfaatan energi serta mengambil peran lebih dalam inovasi PLTMH. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi inspirasi untuk masyarakat.

1.6 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

1.6.1 Letak

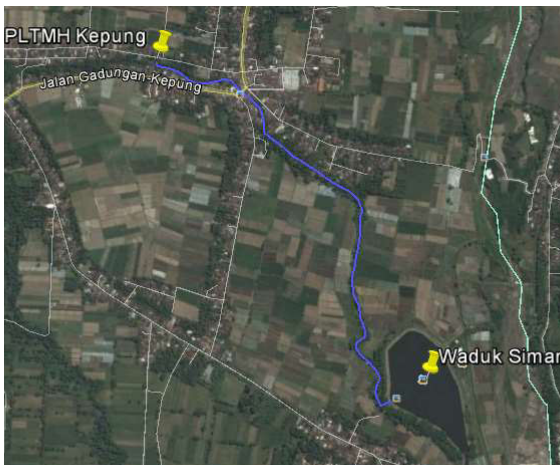
Lokasi penelitian ini terletak di daerah Kepung Kabupaten Kediri, tepatnya berada di desa Brumbung. Kecamatan Kepung adalah salah satu kecamatan dari 26 kecamatan yang ada di Kabupaten Kediri. Kecamatan Kepung ini termasuk kawasan dataran tinggi. Kondisi *topografi* Kecamatan Kepung adalah 258 m dpl dengan suhu yaitu maksimal 35 °C dan minimal 23°C dengan kondisi lahan khas pegunungan.

Dengan letak di dataran tinggi, sebagian besar lahan mempunyai lereng yang cukup curam. Hal ini dikarenakan di daerah Kepung merupakan daerah kaki gunung Kelud yang material penyusun tanahnya didominasi pasir vulkanik dan batubatuan yang berasal dari letusan gunung Kelud. Karena ukuran butiran yang besar, maka sudut dalam butirannya semakin besar juga. Kondisi seperti ini juga berpengaruh terhadap sedimentasi aliran. Daerah yang curam mengakibatkan kecepatan aliran yang tinggi sehingga dapat melarutkan butiran sedimen yang cukup besar. Dilihat dari pengamatan yang dilakukan di lapangan, tanah sekitar lokasi didominasi oleh pasir sedang.

Di kecamatan Kepung terdapat Waduk Siman dengan latar belakang gunung dan sungai besar di seberangnya. Waduk ini difungsikan untuk menampung cadangan air yang dikirim dari Malang selanjutnya air tersebut digunakan untuk mengairi kawasan irigasi di wilayah Kediri dan Jombang. Karena letak yang tak jauh dari waduk, maka potensi debit yang dapat dimanfaatkan diperkirakan akan stabil.

Pada penelitian ini, sungai yang direncanakan dibangun PLTMH adalah sungai Serinjing. Sungai Serinjing terletak di desa Brumbung, kecamatan Kepung, kabupaten Kediri. Potensi debit PLTMH Kepung tergantung dari besarnya debit pola operasi bukaan pintu 1 Waduk Siman yang digunakan untuk mengaliri baku sawah sebesar 4.852 Ha. Hal ini dikarenakan letak lokasi PLTMH tidak jauh dari pintu 1 Waduk Siman yaitu sekitar 1,5 km sehingga *fluktuasi* debit tidak terjadi begitu besar.

Berikut ini adalah gambar letak sungai Serinjing terhadap Waduk Siman:



Gambar 1. 1 Letak sungai Serinjing terhadap waduk Siman skala 1:12000

1.6.2 Kondisi Hidrologi

Sungai Serinjing difungsikan untuk irigasi daerah Kediri dan sekitarnya. Karena letaknya yang berada di kaki gunung Kelud serta memiliki kemiringan lereng yang curam, maka butiran sedimen yang ada di sungai cenderung besar dan cepat mengendap. Hanya pada waktu tertentu aliran sungai terlihat keruh disebabkan oleh debit banjir. Secara umum kualitas air di sungai Serinjing cukup baik.

Kondisi iklim di daerah Kepung memiliki iklim khas pegunungan. Dengan curah hujan yang cukup tinggi serta penguapan yang rendah. Namun karena debit sungai Serinjing sebagian besar berasal dari waduk Siman maka kondisi iklim tersebut tidak berpengaruh besar terhadap debit sungai. Salah satu hal yang mempengaruhi debit sungai adalah curah hujan DAS waduk Siman.

1.6.3 Sosial Ekonomi

Di daerah Kepung ini dahulu pernah didirikan PLTMH. Namun karena ada program listrik masuk desa dari PLN maka PLTMH yang dulu beroperasi menjadi terbengkalai dan rusak parah. Sebenarnya sebuah PLTMH dirancang untuk dapat beroperasi selama 20 tahun lebih. Namun PLTMH membutuhkan perawatan secara berkala yang diasanya dilakukan oleh masyarakat sekitar sebagai pengelola. Perawatan dilakukan untuk mengecek turbin, pipa, generator serta penangkap sedimen.

Jika ditinjau dari fasilitas listrik, sebenarnya daerah ini sudah cukup dengan suplai listrik dari PLN, namun dengan dimanfaatkannya potensi PLTMH maka dapat meringankan beban PLN dalam menyuplai listrik. Terlebih lagi infrastruktur distribusi listrik sudah tersedia di lokasi tersebut, jadi akan meringankan proyek PLTMH yang akan dibangun.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 PLTMH

PLTMH adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerakannya seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Tenaga air berasal dari aliran air yang dibendung dengan ketinggian tertentu dan memiliki debit sehingga dapat memutar turbin yang dihubungkan dengan generator listrik.

Pada dasarnya, PLTMH memanfaatkan energi potensial jatuhan air (*head*). Semakin tinggi jatuhan air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor *geografis* (tata letak sungai), tinggi jatuhan air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Perbedaan tinggi yang semakin besar membuat energi potensialnya semakin besar juga. Perbedaan tinggi dalam PLTMH disebut dengan tinggi jatuh air (*head*), tinggi jatuh air tersebut nantinya akan dikalikan dengan hambatan-hambatan lain agar didapatkan tinggi jatuh efektif.

Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat kedalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro. Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.

Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Bentuk pembangkit tenaga mikro hidro bervariasi, tetapi prinsip kerjanya adalah sama, yaitu: “Perubahan tenaga potensial menjadi tenaga elektrik (listrik)”.

Perubahan memang tidak langsung, tetapi berturut-turut melalui perubahan sebagai berikut:

- Tenaga potensial menjadi tenaga kinetik
- Tenaga kinetik menjadi tenaga mekanik
- Tenaga mekanik menjadi tenaga listrik

Tenaga potensial adalah tenaga air karena berada pada ketinggian. Energi kinetik adalah tenaga air karena mempunyai kecepatan. Tenaga mekanik adalah tenaga kecepatan air yang terus memutar kincir/turbin. Tenaga listrik adalah hasil dari generator yang berputar akibat berputarnya kincir/turbin.

2.1.1 Klasifikasi PLTMH

1. Berdasarkan *head*

- *Head* tinggi : $H > 100$ m biasanya digunakan turbin *pelton*
- *Head* menengah : $30 \text{ m} < H < 100 \text{ m}$ biasanya digunakan turbin *cross-flow*
- *Head* rendah : $2 \text{ m} < H < 30 \text{ m}$ biasanya digunakan turbin *propeller*

2. Berdasarkan kapasitas

- PLTA piko : $< 500 \text{ W}$
- PLTA mikro : $0,5\text{-}100 \text{ kW}$
- PLTA mini : $100\text{-}1000 \text{ kW}$
- PLTA kecil : $1\text{-}10 \text{ mW}$
- PLTA skala penuh : $> 10 \text{ mW}$

3. Berdasarkan Jenis Desain

- *Run-Of The-River*

Bentuk yang paling sederhana dalam konteks PLTA mikro dan mini. Desain ini tidak memanfaatkan bendungan untuk mengarahkan air ke bangunan penadap, melainkan mengubah lajur aliran air menuju turbin melalui pipa atau *penstock*.

- Sistem Penyimpanan

Dalam penggunaan sistem ini. Air ini akan disimpan terlebih dahulu dalam jangka waktu tertentu (beberapa jam atau dalam beberapa bulan) dan akan digunakan untuk menghasilkan energi ketika dibutuhkan. (Dalam pengertiannya air dimasukkan dalam wadah sehingga dalam kurun waktu tertentu, volume air yang mula-mula sedikit akan meningkat. Dengan bertambah besarnya volume air yang tersimpan akan menambah besarnya energi air.

- Sistem Pompa Penyimpan

Ketika terjadi kebutuhan listrik yang rendah atau kelebihan kebutuhan listrik secara tiba-tiba, maka pompa secara otomatis akan mengisi penuh tangki penyimpanan. Namun, apabila terjadi lonjakan kebutuhan listrik yang tinggi, maka tangki akan segera dikosongkan menuju turbin untuk memenuhi kebutuhan produksi yang mencukupi.

2.1.2 Prinsip Kerja PLTMH

Untuk bisa menghasilkan energi listrik dari air, ada beberapa tahapan yang harus dilalui. Pertama adalah energi potensial dari air berubah menjadi energi kinetik. Air pada ketinggian tertentu mempunyai energi potensial, semakin tinggi elevasinya maka energi potensialnya semakin besar. Ketika air pada ketinggian tertentu mengalir kebawah, maka terjadi perubahan energi potensial menjadi energi kinetik. Ketika air mengalir menabrak turbin, maka terjadi perubahan kinetik menjadi energi mekanik. Dan yang

terakhir ketika turbin berputar dan ikut menggerakkan rotor generator, maka terjadi perubahan energi mekanik menjadi energi listrik.

Sebuah skema PLTMH memerlukan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh (biasa disebut '*head*') untuk menghasilkan tenaga yang bermanfaat. Ini adalah sebuah sistem konversi tenaga, menyerap tenaga dari bentuk ketinggian dan aliran, dan menyalurkan tenaga dalam bentuk daya listrik atau daya gagang mekanik. Tidak ada sistem konversi daya yang dapat mengirim sebanyak yang diserap dikurangi sebagian daya hilang oleh sistem itu sendiri dalam bentuk gesekan, panas, suara dan sebagainya. Persamaan konversinya adalah:

Daya yang masuk = Daya yang keluar + Kehilangan (Loss); (2.1)

atau

Daya yang keluar = Daya yang masuk \times Efisiensi konversi (2.2)

Umumnya PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga air jenis *Run of River* di mana *head* diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai ke salah satu sisi sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama pada suatu tempat dimana *head* yang diperlukan sudah diperoleh. Dengan melalui pipa pesat, air diterjunkan untuk memutar turbin yang berada di dalam rumah pembangkit. Energi mekanik dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator.

2.1.3 Cara Pengambilan Air

1. Memakai saluran dengan muka air bebas

Pembangkit listrik tenaga air dengan pengambilan air menggunakan saluran muka air bebas umumnya terdiri dari bagian seperti berikut:

- Bendungan
- Tempat Pemasukan
- Bak Penyaring
- Saluran Pengarah
- Reservoir Harian
- Pipa Pesat
- Gedung Sentral (Rumah Pembangkit)
- Saluran Pembuangan

2. Memakai terowongan tekanan

Pembangkit listrik tenaga air dengan pengambilan air menggunakan terowongan tekanan umumnya terdiri dari bagian seperti berikut:

- Bendungan
- Tempat Pemasukan
- Terowongan Tekan
- Surge Tank
- Pipa Pesat
- Gedung Sentral (Rumah Pembangkit)
- Saluran Pembuangan

3. Langsung mengambil air dari waduk (bendungan tinggi)

Cara pengambilan seperti ini umumnya banyak digunakan pada PLTA modern. Umumnya terdiri dari bagian seperti berikut:

- Bendungan
- Tempat Pemasukan
- Pipa Pesat
- Gedung Sentral (Rumah Pembangkit)
- Saluran Pembuangan

Cara pengambilan air menentukan skema PLTA yang akan dibangun. Namun untuk PLTA dengan skala yang lebih kecil (PLTMH), skemanya dapat disederhanakan mengikuti kondisi di lapangan.

2.2 Pemilihan Lokasi PLTMH

Faktor yang menentukan dalam pemilihan lokasi PLTMH adalah:

2.2.1 Debit Air

Debit di suatu lokasi di sungai dapat diperkirakan dengan cara berikut :

- Pengukuran di lapangan (di lokasi yang ditetapkan).
- Berdasarkan data debit dari stasiun di dekatnya.
- Berdasarkan data hujan.
- Berdasarkan pembangkitan data debit.

Sering di suatu lokasi yang akan dibangun bangunan air tidak terdapat pencatatan debit sungai dalam waktu panjang. Dalam keadaan tersebut terpaksa debit diperkirakan berdasarkan:

- Debit di lokasi lain pada sungai yang sama.
- Debit di lokasi lain pada sungai di sekitarnya
- Debit pada sungai lain yang berjauhan tetapi mempunyai karakteristik yang sama.

2.2.2 Kondisi Geologis Dan Keadaan Air

Dalam menentukan lokasi kedua faktor ini, didapat dari hasil penelitian, kita dapat menentukan hal-hal sebagai berikut:

- Kemungkinan untuk membangun di lokasi tersebut.
- Perencanaan.
- Kontruksi bangunan.
- Perhitungan anggaran biaya.
- Kondisi sedimentasi
- Akses jalan yang mudah
- Minim bencana alam
- Kondisi air, agar dapat menentukan jenis material untuk komponenturbin yang akan dipasang.

2.2.3 Faktor Sosial Dan Ekonomis

Kedua faktor ini dapat diperkirakan dengan cara:

- Lokasi tidak terlalu jauh dari pemukiman (konsumen).
- Objek yang akan dialiri listrik adalah relatif makmur, jadi jumlah pemakainya cukup banyak, dengan demikian keperluan operasional dan pemeliharaannya akan tercukupi karena menjadi tanggungan bagi pemakainya yang banyak.

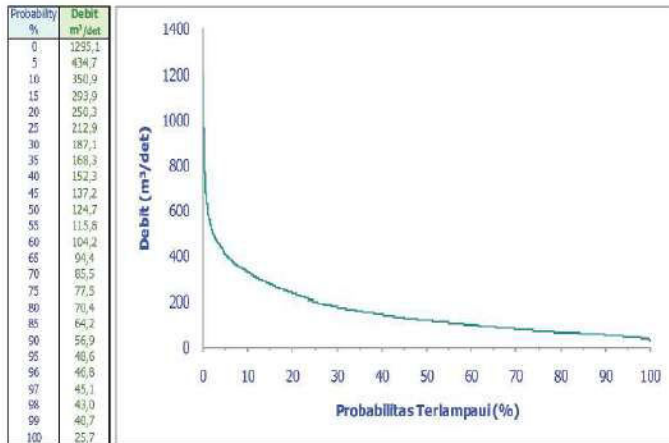
2.3 Debit

Debit yang digunakan dalam perencanaan PLTMH adalah debit andalan. Debit andalan didefinisikan sebagai debit yang tersedia guna keperluan tertentu misalnya untuk keperluan irigasi, PLTA, air baku dan lain-lain sepanjang tahun, dengan resiko kegagalan yang telah diperhitungkan (C.D. Soemarto, 1986:214). *Flow Duration Curve* (FDC) adalah suatu grafik yang memperlihatkan debit sungai selama beberapa waktu tertentu dalam satu tahun. *Flow Duration Curve* dihasilkan dari kurva debit aliran sungai dengan mengelompokkan keseluruhan 365 data yang ada.

Analisis FDC adalah sebuah teknik plot yang menunjukkan hubungan antara nilai dari sebuah besaran dengan frekuensi terjadinya. Informasi penting yang diberikan oleh FDC adalah debit aliran yang melewati lokasi tertentu dan dalam rentang waktu tertentu akan bermanfaat untuk merancang struktur PLTMH yang dibutuhkan.

Untuk kepentingan perancangan PLTMH, sangat penting untuk bisa mendapatkan data debit dari tahun ke tahun sebanyak mungkin sehingga dapat diketahui berapa banyak air (baik di musim kemarau atau penghujan) yang bisa dipergunakan untuk menggerakkan turbin. Data ini memberikan masukan paling mendasar bagi perancang untuk memilih jenis turbin yang paling efisien dan cocok dengan sumber daya yang ada.

Berikut ini adalah contoh dari FDC:



Gambar 2. 1 Contoh tabel dan grafik FDC

Dapat dilihat bahwa dalam FDC, data debit diurutkan dari yang terbesar ke yang terkecil. Kemudian jumlah data digunakan untuk membagi angka 100%, sehingga didapatkan interfal persentase debit, dan debit yang terkecil dianggap menjadi debit 100%.

Berdasarkan *Flow Duration Curve*, perancang memperkirakan kapasitas PLTMH yang mungkin. Proses pendimensian PLTMH tergantung dari debit air dan perkiraan kebutuhan energi listrik dari konsumen. Idealnya energi listrik PLTMH dapat memenuhi permintaan listrik sepanjang tahun. Jika permintaan lebih tinggi dari kapasitas yang tersedia, maka alternatif sumber energi lainnya harus dicari atau usaha-usaha efisiensi energi perlu dipertimbangkan. Dalam penelitian ini debit andalan yang digunakan adalah debit Q 80%.

2.4 Erosi dan Sedimentasi

Erosi dan Sedimentasi merupakan proses terlepasnya butiran tanah dari induknya di suatu tempat dan terangkutnya material tersebut oleh gerakan air atau angin kemudian diikuti dengan

pengendapan material yang terdapat di tempat lain. Terjadinya erosi dan sedimentasi tergantung dari beberapa faktor yaitu karakteristik hujan, kemiringan lereng, tanaman penutup dan kemampuan tanah untuk menyerap dan melepas air ke dalam lapisan tanah dangkal, dampak dari erosi tanah dapat menyebabkan sedimentasi di sungai sehingga dapat mengurangi daya tampung sungai.

Sejumlah bahan erosi yang dapat mengalami secara penuh dari sumbernya hingga mencapai titik kontrol dinamakan hasil sedimen (*sediment yield*). Hasil sedimen tersebut dinyatakan dalam satuan berat (ton) atau satuan volume (m³) dan juga merupakan fungsi luas daerah pengaliran. Dapat juga dikatakan hasil sedimen adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu.

Sedimen yang melayang merupakan masalah bagi PLTMH. Sedimen yang melayang rawan untuk merusak turbin, butiran-butiran sedimen yang menabrak turbin akan mengakibatkan tergerusnya daun turbin. Kondisi seperti ini harus dicegah sedapat mungkin sehingga air yang masuk pipa pesat bersih dari sedimen yang melayang. Untuk mengatasi sedimen diperlukan bak pengendap. Prinsip kerjanya adalah membuat saluran dengan kecepatan rendah dan panjang tertentu sehingga butiran sedimen dapat turun ke dasar saluran dan diendapkan. Faktor yang mempengaruhi sedimentasi adalah kecepatan turun butiran yang dipengaruhi oleh ukuran butiran, berat jenis pelarut dan kecepatan aliran. Kecepatan mengendap aliran digunakan untuk mencari panjang minimal bak pengendap dengan rumus:

$$L = h \frac{v}{w} \text{ dan } B = \frac{Q}{h.v} \quad (2.3)$$

dimana :

H = kedalaman aliran (m)

w = kecepatan endap butiran sedimen (m/det)

L = Panjang bangunan pengendap sedimen (m)

v = kecepatan aliran air (m/det)

Q = debit air di saluran (m³/det)

B = Lebar kantong lumpur (m)

2.5 Tinggi Jatuh Air (*Head*)

Head merupakan tinggi jatuh air dari posisi tertinggi menuju posisi terendah. Tinggi jatuh tersebut menentukan seberapa besar energi potensial air yang berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan PLTMH.

Persamaan tinggi jatuh efektif :

$$H_{\text{eff}} = E_{\text{MAW}} - \text{TWL} - h_l \quad (2.4)$$

Dimana:

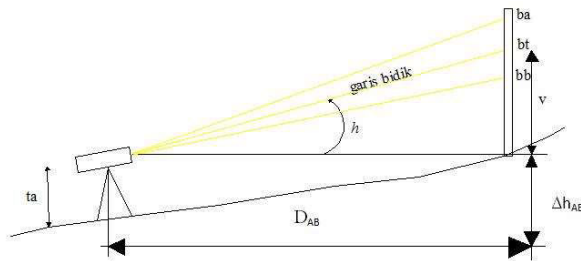
H_{eff} =Tinggi jatuh efektif (m)

E_{MAW} =Elevasi muka air waduk (m)

TWL =(Tail Water Level) elevasi muka air di saluran bawah (m)

h_l =kehilangan tinggi tekan(m)

Untuk pengukuran tinggi jatuh efektif dilapangan, dapat dilakukan dengan pengukuran langsung. Pengukuran tersebut dapat dilakukan dengan cara detail menggunakan standar alat pemetaan maupun dilakukan dengan cara yang sederhana. Alat yang digunakan untuk mengukur tinggi jatuh adalah *theodolite*. Dilakukan dengan menembakkan *theodolite* menuju titik tinggi muka air bak penenang, kemudian dicari perbedaan ketinggian antara elevasi air bak penenang dan elevasi air pembuangan.



Gambar 2. 2 Sketsa penggunaan theodolit

Dalam menentukan tinggi jatuh air di sungai berdasarkan pada:

- Kondisi alam, yaitu perbedaan tinggi antara lokasi bak penampung dan lokasi pembangkit.
- Tinggi terjun yang sengaja dibuat, hal ini untuk mendapat tinggi jatuh air yang sesuai dengan kapasitas yang diinginkan.

2.6 Pipa Pesat (*Penstock*)

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebaytank*) menuju rumah pembangkit (*powerhouse*). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter *penstock*, tebal dan jenis sambungan (*coordinationpoint*). Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugi-rugi (*frictionlosses*) seminimal mungkin. Ketebalan *penstock* dipilih untuk menahan tekanan hidrolik dan *surgepressure* yang dapat terjadi.

Kriteria perancangan pipa pesat adalah sebagai berikut:

1. *Penstock* bisa terbuat dari mild steel, HDPE, atau PVC harus dalam kondisi baru dan baik.
2. Ketebalan bahan *penstock* dari bahan besi ukuran 1,5 mm.

3. *Penstock* harus dicegah terjadinya korosi, keamanan menjadi faktor penting.
4. *Penstock* dari bahan plastic (HDPE atau PVC) harus di tanam di dalam tanah atau dilindungi dari sinar matahari langsung dengan dibungkus
5. *Penstock* harus dirancang sedemikian sehingga kehilangan tekanan (head losses) di dalam *penstock* maksimal 10 % dari head total.
6. *Penstock* yang amat panjang (5 x head) maksimal kehilangan tekanan 15% masih bisa ditoleransi.
7. Tingkat tekanan yang bisa diterima *penstock* harus mempertimbangkan tekanan tiba-tiba (surge pressure), tekanan static dan tekanan yang dihasilkan karena penutupan guide vane. Spesifikasi tekanan ini harus bisa diaplikasikan di seluruh bagian *penstock*.
8. *Penstock* harus mampu menahan tekanan akibat water hammer.
9. *Penstock* harus dilengkapi dengan pipa napas di ujung atas *penstock*. Ukuran diameter pipa napas berkisar 1% sampai 2% diameter *penstock*.
10. Jika diperlukan katub udara (air release valve) dipasang pada titik-titik dimana ada perubahan arah *penstock* yang signifikan seperti pada belokan.
11. Spesifikasi katub udara disesuaikan dengan tingkat tekanan yang kemungkinan diterima di titik tersebut.

2.6.1 Material

Pemilihan material berdasarkan pertimbangan kondisi operasi, *aksesibility*, berat, system penyambungan dan biaya. Berdasarkan konstruksinya pipa *penstock* terbagi ke dalam

beberapa jenis yakni *concretepenstock*, *fiberglass/plasticpenstock*, *steelpenstock* dan *woodpenstock*.

Pada perencanaan PLTMH ini menggunakan *steelpenstock* (*rolledweldedpipe*) karena kekuatannya yang tinggi sehingga lebih tahan lama, tersedia beberapa macam variasi ukuran karena pembuatannya lebih mudah.

2.6.2 Diameter *Penstock*

Diameter pipa *penstock* ditentukan berdasarkan debit aliran yang akan mengalir pada pipa *penstock* tersebut dimana dalam penentuan diameter pipa *penstock* tersebut mempertimbangkan beberapa hal yakni keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material, tingkat rugi-rugi yang seminimal mungkin dan nilai ekonomis dari pipa *penstock* tersebut, dimana pipa yang memiliki diameter lebih besar memiliki tingkat rugi-rugi yang lebih minim dikarenakan kecepatan aliran air lebih kecil namun pipa *penstock* dengan ukuran diameter yang lebih besar ukurannya sangat besar, berat dan harganya lebih tinggi. Sedangkan untuk pipa yang memiliki diameter lebih kecil harganya lebih murah namun memiliki tingkat rugi – rugi yang lebih besar.

Diameter minimum pipa pesat dapat menggunakan persamaan :

$$D = 2,69 \times \left(\frac{n^2 \times Q^2 \times L}{H} \right)^{0,187} \quad (2.5)$$

Dimana :

D = Diameter pipa pesat (m)

Q = Debit pembangkit (m³/dt)

H = Tinggi jatuh (m)

L = Panjang pipa pesat

n = Koefisien manning

Diameter *penstock* dapat juga dicari dengan menurunkan rumus rumus Bernoulli :

$$V = \sqrt{2gh} \quad (2.6)$$

Dimana :

V = Kecepatan dalam pipa (m/detik)

g = Percepatan gravitasi (9.8 m²/detik)

h = Tinggi jatuh (m)

Kemudian rumus tersebut diturunkan menjadi rumus luas :

$$Q = V \cdot A \quad (2.7)$$

$$A = \frac{Q}{V} \quad (2.8)$$

Setelah didapatkan luas, selanjutnya dicari diameter :

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (2.9)$$

2.6.3 Tebal *Penstock*

Tebal pipa *penstock* yang direncanakan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\delta = d^3 \sqrt{\frac{np_0}{2E}} \quad (2.10)$$

Dimana :

d = Diameter pipa (m)

n = Faktor keamanan

n = 2 untuk pipa yang tertutup tanah

n = 4 untuk pipa di luar

p_0 = Tekanan udara = 0,1 MPa

E = Modulus elastisitas = 200 Gpa

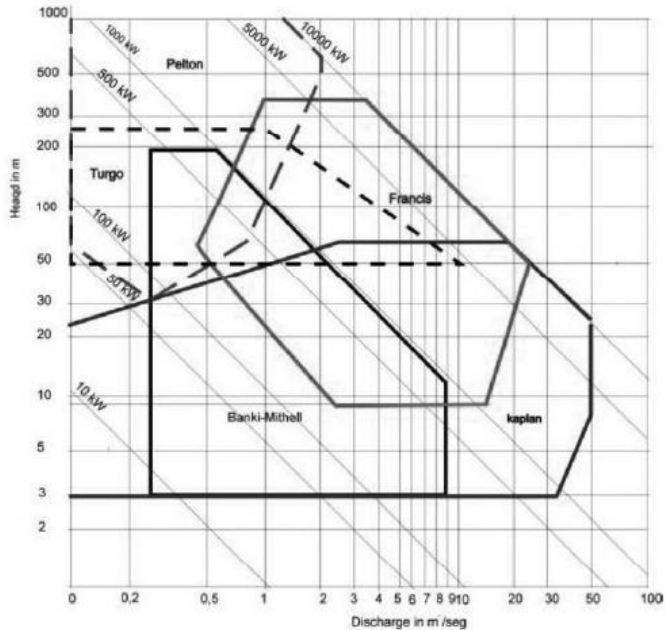
2.7 Turbin

Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerja. Air yang mengalir dari tempat tinggi menuju ke tempat yang lebih rendah mengakibatkan air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran didalam pipa, energi potensial tersebut berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetis dan ketika air menabrak turbin energinya berubah menjadi energi mekanis. Roda turbin dihubungkan dengan generator yang mengubah energi mekanis (gerak) menjadi energi listrik (Arismunandar, 1991:64).

Pemilihan turbin air pada suatu pembangkit ditentukan berdasarkan beberapa paramater yakni faktor tinggi jatuh air efektif (*Head* efektif), debit aliran air, kecepatan spesifik turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putaran runner yang dapat dihasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter.

Faktor tinggi jatuhnya air efektif (Net Head) dan debit yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin, sebagai contoh : turbin pelton efektif untuk operasi pada head tinggi, sementara turbin propeller sangat efektif beroperasi pada head rendah.

Berikut ini adalah diagram hubungan debit dan *head* terhadap pemilihan turbin :



Gambar 2. 3 Diagram Aplikasi Berbagai Jenis Turbin Terhadap Head Dan Debit

2.8 Perhitungan Daya dan Energi

Keuntungan suatu proyek Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ditentukan dari besar daya yang di-bangkitkan dan jumlah energi yang dibangkitkan tiap tahun. Jika tinggi jatuh efektif maksimum adalah H_{eff} (m), Debit maksimum turbin adalah Q (m³/dtk), efisiensi dari turbin dan generator masing-masing adalah

nt dan η maka daya atau tenaga yang di-bangkitkan oleh suatu Pembangkit Listrik

Cara kerja pembangkit listrik tenaga mikrohydro ini sangat bergantung pada tiga faktor, yaitu debit air, jatuh ketinggian, dan efisiensi. Dari tiga faktor itu maka dapat di rumuskan bagaimana potensi suatu sungai jika dibangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLMTH) dan berapa daya keluarannya sebagai berikut (IJEAT, 2013):

$$P = Q \times H \times 9.8 \times \mu \quad (2.11)$$

Dimana:

P = daya yang di bangkitkan (kilowatt)

Q = debit air ($m^3/detik$)

H = ketinggian air (m)

μ = efisiensi

$9,8$ = konstanta gravitasi bumi ($m/detik$)

2.9 Bangunan Sipil PLTMH

Bangunan sipil yang dimaksud adalah semua bangunan mulai dari bangunan pengambilan, saluran pengarah, bak pengendap hingga rumah pembangkit.

2.9.1 Bangunan Pengambilan

Bangunan pengambilan di sini yang dimaksud adalah pintu air, berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ke dalam sebuah bak pengendap. Bangunan pengambilan harus dilengkapi dengan *trashrack* yang berfungsi untuk menyaring sampah terapung.

Kriteria tentang perancangan bangunan pengambilan menurut “Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)” yang

diterbitkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral adalah sebagai berikut:

1. Drop intake bisa dipergunakan jika gradient sungai lebih dari 5% jika kurang dari itu intake lateral bisa dipergunakan (misalnya side intake).
2. Lokasi intake harus dipilih di tempat yang mampu menyedot sebanyak mungkin air dan tidak membawa sedimen apung yang akan masuk ke dalam intake. Bendung dan intake sebaiknya mampu menahan banjir tahunan.
3. Bukaan intake (intake orifice) harus tenggelam di bawah muka air setiap kondisi aliran minimum dengan periode 25 tahunan.
4. Pintu menutup intake diperlukan dalam rangka mengosongkan bangunan pembawa air dan untuk perawatan atau perbaikan.
5. *Trashrack* harus dipasang di intake khususnya untuk sedimen apung berukuran besar.
6. Bangunan intake harus dirancang sedemikian rupa sehingga aliran banjir selalu melewati bendung dan tidak mengalir melalui bangunan intake.

Pedoman teknis bangunan air dapat mengacu kepada Standar Nasional Indonesia SNI 03-1731-1989 tentang Pedoman Perencanaan Bendungan Bangunan Sipil.

2.9.2 Saluran Pengarah

Saluran pengarah direncanakan untuk mengalirkan air dari bangunan pengambilan menuju ke bak pengendap sedimen. Saluran pengarah merupakan bangunan tambahan yang diperlukan menyesuaikan letak bangunan pengambilan dan bak pengendap..

Saluran pengarah sebaiknya menggunakan pasangan batu ataupun beton untuk meminimalisir kehilangan air.

Kriteria perancangan saluran pengarah adalah sebagai berikut:

1. Tidak disarankan menggunakan saluran alami dari tanah
2. Acian dinding saluran pembawa menggunakan adukan semen dengan perbandingan minimum 1:3 (1 semen, 3 pasir)
3. Penguatan slope tanah perlu dilakukan disesuaikan dengan kebutuhan lokasi
4. Pipa plastic bisa dipergunakan untuk saluran pembawa. Jika dipergunakan pipa PVC atau HDPE maka pipa harus dipendam dengan kedalaman minimum 60 cm.
5. Jembatan pipa atau talang dapat dipakai pada daerah yang rawan longsor
6. Jika saluran pembawa sangat panjang dan melalui tebing yang terjal, saluran pembuang air harus diarahkan ke saluran alami sehingga aman bagi kekuatan tanah
7. Jika diperlukan, pada saluran pembawa yang menggunakan pipa dipasangkan pipa pelepas udara di lokasi-lokasi belokan tajam
8. Untuk saluran pembawa tinggi muka air minimal berjarak 25 cm dari bibir saluran (freeboard) pada saat beban maksimal.

2.9.3 Bak Pengendap

Bak pengendap merupakan bangunan yang berfungsi menangkap sedimen yang ukurannya lebih besar dari ukuran minimum yang dapat merusak turbin. Bak pengendap merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH karena fungsinya yaitu untuk mengendapkan sedimen. Sedimen merupakan faktor yang sering merusak PLTMH baik ketika masuk ke pipa, turbin maupun

saluran pembuangan. Oleh karena itu bak pengendap dirancang sedemikian rupa agar dapat mengendapkan semua sedimen.

Perencanaan bak pengendap didesain sedemikian rupa agar dapat mengendapkan sedimen. Oleh karena itu, bak pengendap harus memenuhi panjang minimal yang direncanakan. Panjang minimal tersebut merupakan rentang yang dibutuhkan sedimen untuk mengendap.

Butiran sedimen yang masuk dalam bangunan pengendap sedimen, dengan kecepatan endap sedimen “w” dan kecepatan air “v” harus mencapai titik C. Sehingga butiran sedimen tersebut akan berjalan selama waktu H/V , yang diperlukan untuk mencapai dasar, untuk selanjutnya bergerak atau bergulir sepanjang L dalam waktu L/v . Sehingga persamaan dapat disusun sebagai berikut :

$$L = h \frac{v}{w} \text{ dan } B = \frac{Q}{h.v} \quad (2.12)$$

dimana :

H = kedalaman aliran (m)

w = kecepatan endap butiran sedimen (m/det)

L = Panjang bangunan pengendap sedimen (m)

v = kecepatan aliran air (m/det)

Q = debit air di saluran (m³/det)

B = Lebar kantong lumpur (m)

Untuk masalah pengoperasian, bak pengendap dibagi menjadi beberapa ruang. Hal ini berfungsi agar ketika salah satu ruang sedang dikuras, maka air masih dapat mengalir dan PLTMH tetap dapat beroperasi. Bak pengendap dilengkapi dengan pintu air di hulu saluran. Kemudian diwajibkan terdapat *trashrack* yang lebih rapat dari *trashrack* yang terdapat di bangunan pengambilan.

Kriteria perancangan bak pengendap adalah sebagai berikut:

1. Tidak disarankan menggunakan saluran alami dari tanah.
2. Acian dinding saluran pembawa menggunakan adukan semen dengan perbandingan minimum 1:3 (1 semen, 3 pasir).
3. Penguatan slope tanah perlu dilakukan disesuaikan dengan kebutuhan lokasi.
4. Pipa plastic bisa dipergunakan untuk saluran pembawa. Jika dipergunakan pipa PVC atau HDPE maka pipa harus dipendam dengan kedalaman minimum 60 cm.
5. Jembatan pipa atau talang dapat dipakai pada daerah yang rawan longsor.
6. Jika saluran pembawa sangat panjang dan melalui tebing yang terjal, saluran pembuang air harus diarahkan ke saluran alami sehingga aman bagi kekuatan tanah.
7. Jika diperlukan, pada saluran pembawa yang menggunakan pipa dipasangkan pipa pelepas udara di lokasi-lokasi belokan tajam.
8. Untuk saluran pembawa tinggi muka air minimal berjarak 25 cm dari bibir saluran (freeboard) pada saat beban maksimal.

2.9.4 Rumah Pembangkit

Rumah pembangkit merupakan bangunan tempat beroperasinya turbin. Oleh karena di dalam bangunan ini terjadi putaran turbin, maka konstruksi rumah pembangkit harus dapat menahan beban operasional dari turbin dan generator.

Kriteria perancangan rumah pembangkit adalah sebagai berikut:

1. Powerhouse harus mampu melindungi peralatan elektro mekanikal dan kontrol dari cuaca yang buruk serta akses dari orang yang tidak memiliki hak

2. Powerhouse harus berada pada posisi yang lebih tinggi dari ketinggian banjir tahunan (misalnya banjir 25 tahunan atau 50 tahunan).
3. Layout peralatan di dalam powerhouse harus mengindahkan kemudahan pergerakan operator di dalamnya termasuk saat perbaikan turbin atau kontrol.
4. Luas powerhouse harus disesuaikan dengan besarnya turbin dan kubikel control.
5. Jika dimungkinkan, powerhouse memiliki rel gantung (hoist) sebagai alat bantu kerja perbaikan
6. Pondasi rumah turbin dibuat dari konstruksi beton bertulang yang mampu menahan gaya dan tekanan dari turbin maupun dari *penstock*.
7. Anchor block harus dipasang di powerhouse sehingga tekanan dari *penstock* tidak dibebankan kepada housing turbine namun disalurkan ke tanah.
8. Saluran kabel di dalam powerhouse harus dirancang agar tidak mudah terendam air (misalnya jika ada kebocoran).
9. Tinggi atap atau plafon minimum adalah 2.5 meter atau tanpa plafon sama sekali
10. Tailrace harus dirancang sehingga ketinggian muka air saat turbin berada pada operasi maksimal berjarak minimum 30 cm dari outlet turbin.
11. Powerhouse yang terbuat dari dinding kayu hanya boleh dilakukan untuk PLTMH berkapasitas di bawah 5 kW. Disarankan powerhouse untuk semua kapasitas menggunakan dinding pasangan bata.
12. Penumbumian proteksi dalam powerhouse:
 - a. Semua barang terbuat dari metal di dalam powerhouse harus diberi pennumbumian sebagai proteksi

- b. Pembumian dari semua peralatan tersebut dijadikan Satu
- c. Batang untuk pembumian minimal berukuran 10 mm² dan terbuat dari tembaga dan ditanam cukup dalam ke dalam tanah
- d. Proteksi untuk peralatan lain disesuaikan dengan spesifikasi dan metode dari produsen.

2.9.5 *Trashrack*

Trashrack adalah penyaring kotoran yang wajib dipasang dalam sistem PLTMH. *Trashrack* dipasang pada beberapa titik sesuai dengan fungsinya. Yaitu pada bangunan pengambilan (untuk menyaring sampah terapung), pada bak pengendap (untuk menyaring sampah yang masih tersisa) dan terdapat pada sebelum *penstock* (untuk memastikan air benar-benar bebas sampah).

Kriteria perancangan *trashrack* adalah sebagai berikut:

1. Trash rack tidak boleh terbuat dari bambu atau kayu. Trash rack harus dibuat dengan menggunakan besi pejal dengan diameter minimal 4 mm atau besi plat dengan ketebalan minimum 3 mm.
2. Trash rack dipasang di intake dan saluran pembawa awal dengan bukaan yang relative lebar tergantung kepada karakter ukuran sampah dengan bukaan. minimal 5 cm dan maksimum 10 cm.
3. Inlet *penstock* harus menggunakan trash rack yang lebih sempit bukaannya. Bukaan atau jarak antar besi disesuaikan dengan ukuran nozzle turbin pada kasus turbin impulse.
4. Trash rack harus mampu menahan tekanan air karena adanya penyumbatan pada kondisi air penuh.
5. Kemiringan trash rack paling tidak adalah 70 derajat dari dataran sehingga memudahkan untuk pembersihan.
6. Trash rack harus bisa dilepas dari struktur sipil untuk akses perbaikan dan pembersihan.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Umum

Metodologi adalah urutan kerja Tugas Akhir Terapan yang pada penelitian ini berjudul “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI”. Adapun tujuan dibuatnya metodologi ini yaitu:

1. Mendapatkan gambaran umum mengenai tahapan analisa secara sistematis.
2. Memudahkan dalam mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan pelaksanaan perencanaan.
3. Menghindari terjadinya kesalahan dalam proses analisa

3.2 Persiapan

Persiapan dilakukan untuk mendukung kelancaran penyusunan Laporan Tugas Akhir ini, diantaranya yaitu:

1. Mengurus surat-surat yang diperlukan sebagai kelengkapan administrasi penyusunan Tugas Akhir.
2. Menentukan pihak-pihak (instansi) yang akan dihubungi terkait penyusunan Tugas Akhir untuk mencari informasi dan meminta data.

3.3 Survey Lapangan

Survey lapangan dilakukan bertujuan untuk mengetahui kondisi dan situasi di lapangan.

3.4 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari teori- teori yang berkaitan dengan judul Laporan Tugas Akhir yaitu “PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO(PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI”

3.5 Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini antara lain :

1. Data Hidrologi

Data hidrologi yang diperlukan yaitu data debit andalan sungai yang dipakai dalam penelitian ini yaitu data debit sungai Serinjing.

2. Peta *Topografi*

Peta *topografi* digunakan untuk merencanakan layout PLTMH dengan mempertimbangkan kondisi geografis di lapangan.

3.6 Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan menggunakan metode- metode yang telah diajarkan atau metode lain yang mungkin diperlukan.

3.6.1 Analisa Keadaan *Topografi*

Gembaran keadaan *topografi* digunakan sebagai dasar untuk perencanaan / desain skema PLTMH pada lokasi yang terpilih. Desain skema PLTMH meliputi bangunan pengambilan, saluran pengarah, bak pengendap, pipa pesat (*penstock*) dan rumah pembangkit. Dengan mengacu pada peta *topografi*, maka

komponen bangunan PLTMH dapan direncanakan sesuai dengan keadaan situasi yang ada.

Dari gambaran diatas nantinya akan direncanakan skema PLTMH yang memungkinkan. Namun untuk data situasi di lapangan, diperlukan peninjauan langsung ke lokasi guna mendapatkan data yang akurat. Peninjauan langsung ke lokasi nantinya akan didapat gambar *site plan* yang nantinya digunakan untuk rancangan PLTMH.

3.6.2 Analisa Data Debit Sungai Serinjing

Pada perencanaan PLTMH, debit andalan sangat berpengaruh pada daya yang akan dikeluarkan. Debit andalan yang digunakan untuk tujuan pusat listrik tenaga air sebesar 80%. Namun angka tersebut masih dapat berubah tergantung tujuan perencanaan. Jika PLTMH tersebut adalah sumber listrik utama penduduk setempat, maka persentase debitnya harus dinaikan sekurang-kurangnya 90%-95%. Jika PLTMH tersebut hanya sebagai support listrik (diambil potensi daya untuk dijual secara komersial) dan terdapat sumber listrik lain, maka persentase debitnya dapat dikurangi sehingga didapatnya debit yang lebih besar agar keuntungan penjualannya meningkat.

Debit pada PLTMH Kepung ini berasal dari bukaan pintu waduk Siman yang diperuntukkan sebagai saluran irigasi. Data yang diperoleh kemudian disusun seperti berikut ini:

Tabel 2. 1 Data debit bulanan pintu waduk Siman

Tahun	Debit (m ³ /detik)										
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov
2005	2.267	2.264	1.918	2.484	1.653	2.636	2.582	2.773	2.316	2.397	0.000
2006	2.967	2.932	3.426	2.895	10.209	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2007	2.197	2.234	2.279	2.111	2.111	2.223	2.156	1.704	1.623	1.810	2.027
2008	1.807	2.181	2.139	2.170	2.148	2.072	2.050	2.111	2.111	2.111	2.109
2009	2.301	2.419	2.470	2.470	2.331	2.398	2.427	2.343	2.111	2.096	2.122
2010	2.351	2.176	2.257	2.279	2.286	2.270	2.165	2.191	2.225	2.245	2.083
2011	2.344	2.176	2.410	2.430	2.390	2.302	2.333	2.333	2.228	2.479	2.551
2012	2.515	2.513	2.464	2.543	2.487	2.483	2.338	2.500	2.177	2.022	2.316
2013	2.350	2.336	3.248	2.096	2.401	2.367	2.348	1.493	2.177	2.022	2.316
2014	2.130	1.076	0.796	1.940	1.957	2.137	2.121	1.994	1.995	2.109	2.111
Rata-Rata	2.323	2.231	2.341	2.342	2.997	2.089	2.052	1.944	1.896	1.929	1.764
Max	2.967	2.932	3.426	2.895	10.209	2.636	2.582	2.773	2.316	2.479	2.551
Min	1.807	1.076	0.796	1.940	1.653	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Rata-Rata Tahunan

Des

Nov

Okt

Sep

Agu

Jul

Jun

Mei

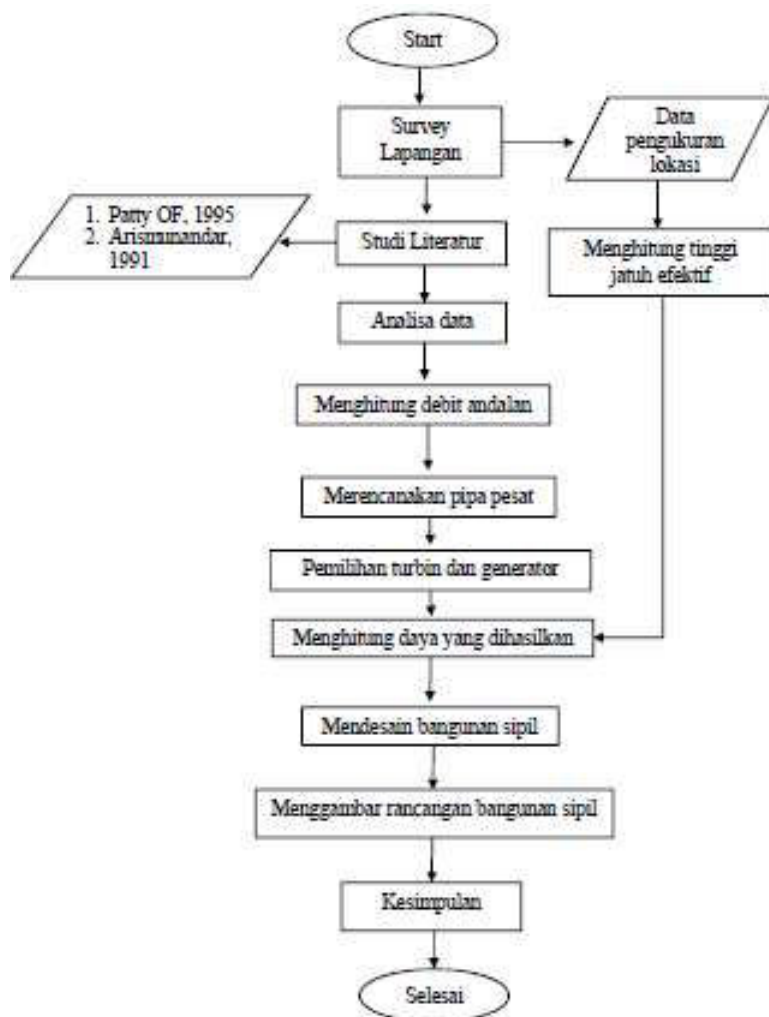
Apr

Mar

Feb

Jan

3.7 Diagram Alir Metodologi (*FlowChart*)



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Kondisi Existing

Kondisi existing pada lokasi PLTMH sudah ada sisa-sisa bangunan PLTMH lama yang sudah rusak. PLTMH yang dulu sudah tidak difungsikan akhirnya tidak dilakukan pemeliharaan sehingga banyak bagian-bagian yang rusak. Namun PLTMH lama masih menyisakan bangunan bendung yang bisa digunakan untuk PLTMH yang baru. Dengan kondisi seperti itu, maka lokasi tersebut masih cukup potensial untuk dibangun PLTMH kembali.

Bangunan lain yang masih tersisa adalah saluran pengambilan dan bak penenang. Namun mengingat kondisinya yang sudah rusak, nampaknya diperlukan perancangan ulang agar dapat difungsikan kembali. Hal yang perlu diperhatikan adalah kondisi sedimen baik sedimen terlarut maupun sedimen tak terlarut. Kemungkinan pada saat PLTMH lama dioperasikan kondisi sedimennya tidak seperti sekarang, sehingga diperlukan perancangan ulang agar dapat menanggulangi sedimen yang ada saat ini.



Gambar 4. 1 Kondisi existing bangun bendung



Gambar 4. 2 Kondisi existing bangunan pengambilan



Gambar 4. 3 Kondisi existing bak penenang



Gambar 4. 4 Kondisi existing rumah pembangkit

Pada gambar existing tersebut, nampak bahwa masih tersisa beberapa bangunan dari PLTMH yang sudah rusak. Hal ini menunjukkan bahwa lokasi ini mempunyai potensi untuk dibangun PLTMH. Untuk merencanakan kembali PLTMH di lokasi tersebut, perlu dipelajari masalah-masalah yang menyebabkan PLTMH ini rusak. Dilihat dari kondisi yang ada, bangun bending, bangunan pengambilan dan bak penenang nampak baik-baik saja. Bangunan yang nampak rusak adalah rumah pembangkit dan *penstock*. Salah satu masalah yang mungkin terjadi adalah persoalan sedimen yang lolos sampai turbin sehingga menjadikan *penstock* dan turbin menjadi rusak.

Masalah lain yang mungkin terjadi adalah PLTMH tidak dapat mengantisipasi debit banjir, sehingga terjadi kerusakan pada turbin. Namun mengingat bahwa lokasi PLTMH berada pada hulu daerah vulkanis, maka yang menjadi masalah serius adalah masalah sedimen. Oleh karena itu, perlu kiranya rancangan PLTMH yang adkan dibangun benar-benar dapat mengantisipasi masalah sedimen.

Debit yang terlihat di lokasi terlihat tenang dan miim gejala arus. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi saluran yang ada sudah dapat mengantisipasi kecepatan kritis sehingga tidak diperlukan banyak perubahan dimensi saluran. Peninjauan lokasi dilakukan pada bulan Nopember yang merupakan bulan basah.

Kondisi tanah di sekitar lokasi didominasi oleh tanah pasir vulkanik. Tanah pasir tersebut mempunyai ukuran butiran yang sedang dan merata. Dilihat dari pengamatan langsung, diperkirakan susunan tanah tersebut masuk dalam kategori pasir sedang. Hal ini berguna untuk menghitung laju sedimentasi dalam PLTMH. Bentuk topografi di sekitar lokasi umumnya terdiri dari batu-batuan yang cenderung curam. Hal ini menunjukkan bahwa struktur tanah tidak lembek sehingga bangun sipil PLTMH tidak memerlukan desain khusus.

Untuk tinggi jatuh setelah dilakukan pengukuran, didapat tinggi jatuh kotor sebesar 4 meter. Tinggi jatuh ini nantinya akan dikoreksi lagi dengan faktor desain dan faktor efisiensi sehingga didapat tinggi jatuh efektif.

4.2 Analisa Debit Andalan

Debit yang digunakan disini adalah debit bukaan pintu waduk Siman. Untuk menghitung debit andalan data debit yang dibutuhkan adalah sekurang-kurangnya 10 tahun. Dari data tersebut, dicari debit minimum, maksimum, dan debit andalan yang dipakai. Oleh karena PLTMH ini digunakan untuk meringankan beban PLN, maka debit yang dipakai adalah debit 80% (Q80).

Karena data yang diperoleh berupa data per hari, maka diperlukan pengolahan data lanjutan untuk mengubah menjadi data bulanan. Diperhatikan juga satuan debitnya yang dari sana berupa satuan liter/detik.

Untuk mengolah data debit tersebut, semua data disusun berdasarkan tahun dan bulan. Kemudian diranking data per bulan

mulai yang terbesar ke yang terkecil, debit terbesar merupakan debit dengan persentase kejadian terkecil. Selanjutnya dimasukkan durasi hari tiap bulan dan disusun ke bawah dengan pertambahan secara kumulatif. Urutan durasi tersebut kemudian dihubungkan dengan persen terhadap jumlah hari.

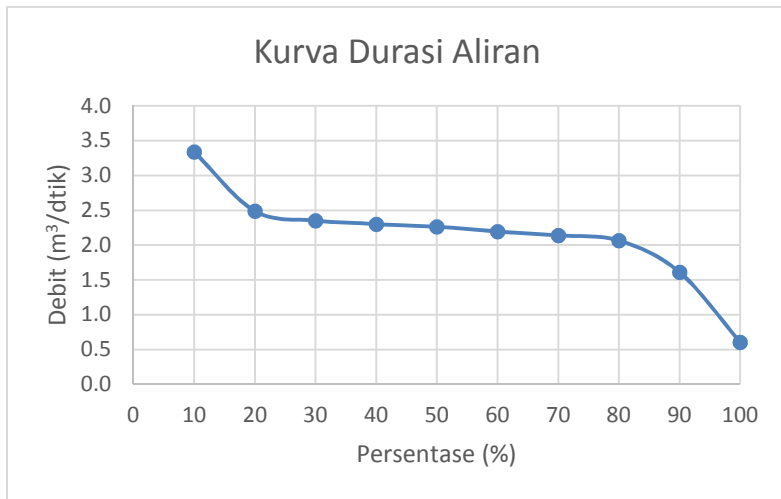
Setelah disusun demikian, selanjutnya dibuat grafik hubungan antara rata-rata debit tahunan dan persentase kejadian. Maka didapatlah “Kurva Durasi Aliran”, dari kurva tersebut dapat diamati dengan mudah debit Q80 tanpa harus menghitung dengan tabel. Dengan cara seperti itu, selain didapat debit Q80 juga dapat dilihat debit maksimum dan minimum serta *fluktuasi* debitnya. Hal tersebut berguna untuk mengetahui debit terendah agar dapat merencanakan pengaliran serta untuk mengetahui debit tertinggi agar dapat merencanakan keadaan banjir.

Debit banjir sangat berbahaya untuk PLTMH. Maka dari itu debit banjir harus ditanggulangi sebisa mungkin. Yaitu salah satunya dengan membuat pelimpah pada bak penenang. Pelimpah yang direncanakan harus benar-benar mampu mengeluarkan kelebihan debit di atas batas maksimal turbin. Karena ketika turbin mendapatkan beban melebihi kapasitas yang direncanakan, maka turbin akan rusak dan mengakibatkan kerusakan pada komponen yang lain. Kondisi banjir tersebut juga merupakan salah satu sebab rusaknya PLTMH yang dulu, yaitu terlihat bahwa ruang *runner* turbin dan ujung bak pengendap rusak parah..

Lanjutan tabel 4.1

Persen		Hari	Debit (m ³ /detik)												
			Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Rata-Rata Tahunan
Rata-Rata			2.32	2.23	2.34	2.34	3.00	2.09	2.05	1.94	1.90	1.93	1.76	1.73	2.14
Max			2.97	2.93	3.43	2.90	10.21	2.64	2.58	2.77	2.32	2.48	2.55	2.29	3.34
Min			1.81	1.08	0.80	1.94	1.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.61
Q50			2.34	2.26	2.41	2.43	2.33	2.30	2.33	2.19	2.18	2.11	2.11	2.15	2.26
Q80			2.20	2.18	2.14	2.11	2.11	2.14	2.12	1.70	1.99	2.02	2.03	2.05	2.07
Q90			2.13	2.18	1.92	2.10	1.96	2.07	2.05	1.49	1.62	1.81	0.00	0.00	1.61

Dan diperoleh kurva durasi aliran sebagai berikut:



Gambar 4. 5 Kurva durasi aliran

Dari tabel maupun grafik diatas, dapat dilihat bahwa hasil Q80 adalah sebesar 2.07 m³/detik. Debit tersebut merupakan debit perkiraan yang terjadi di pintu air waduk Siman. Untuk memperoleh debit yang sampai pada lokasi PLTMH, maka debit Q80 waduk Siman dikurangi dengan kehilangan air yang diperkirakan sebesar 20% karena kemungkinan air berkurang di saluran dan dipakai untuk irigasi pada sawah sebelum sampai lokasi PLTMH. Didapatkan hasil akhir yaitu debit Q80 = 1.65 m³/detik; Qmin = 0.61 m³/detik; dan Qmax = 3.34 m³/detik.

Pertimbangan penentuan debit tersebut dilakukan karena terjadi *fluktuasi* debit di pintu waduk Siman. Kemungkinan sebabnya adalah karena rekayasa pengaliran dari waduk sehingga debit yang keluar diatur dengan besaran tertentu.

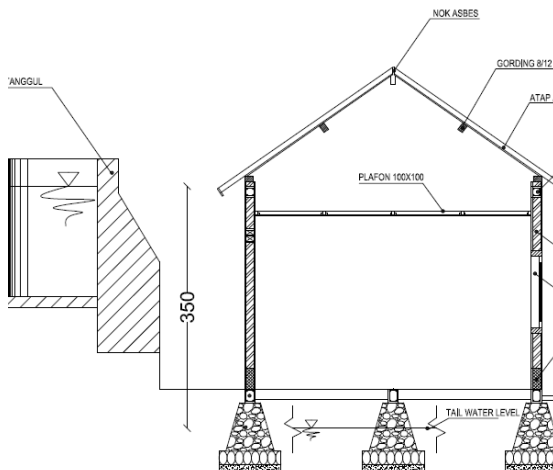
Selain debit hasil perhitungan di atas, debit yang digunakan pada PLTMH harus di kroscek dengan debit pengukuran lapangan. Hal ini dilakukan untuk mengukur tingkat keakuratan perhitungan. Pengukuran debit di lapangan dapat dilakukan dengan

menggunakan ambang segi tiga dan mengukur kecepatan aliran, sehingga didapatkan luas penampang dan kecepatan untuk dihitung menjadi debit.

4.3 Analisa Tinggi Jatuh Air (Head)

Tinggi jatuh air merupakan salah satu hal penting dalam perancangan PLTMH. Tinggi jatuh air (head) didapat dari pengukuran langsung, yaitu merupakan selisih elevasi antara muka air di bak penenang dan *tail water level* (TWL). Cara pengukuran tinggi jatuh dilakukan dengan menggunakan *theodolit* agar didapat hasil yang akurat.

Hasil pengukuran tinggi jatuh dengan menggunakan *theodolit*:



Gambar 4. 6 Sketsa tinggi jatuh

Dari pengamatan yang dilakukan, didapatkan tinggi jatuh air sebesar 3.5 m. Dalam pengamatan tersebut, acuan pengukuran adalah dari elevasi air sampai TLW, sehingga besaran tinggi jatuh

air tersebut sudah dapat digunakan untuk menghitung daya. Dengan tinggi jatuh sebesar 3.5 m, maka secara teknis dapat dimanfaatkan untuk PLTMH. Tinggi jatuh tersebut nantinya akan dikurangi dengan kehilangan energi pada pipa pesat. Hasil dari perhitungan tersebut nantinya akan digunakan dalam perhitungan daya terbangkit. Hal selanjutnya yang harus dilakukan adalah optimasi unit pembangkit. Yaitu merekayasa unit pembangkit lain agar daya yang dihasilkan dapat optimal.

4.4 Perancangan Bangunan Pengambilan

Bangunan pengambilan adalah bangunan yang berfungsi untuk mengalihkan air dari sungai ke sistem PLTMH. Bangunan pengambilan dilengkapi dengan pintu air dan *trashrack* kasar untuk menyaring sampah terapung. Bangunan pengambilan harus dapat meminimalisir sampah yang masuk.

Bangunan intake harus mensuplai debit air dengan stabil ke saluran pembawa, yang kemudian diteruskan ke bak penenang. Debit air tersebut kemudian diteruskan ke rumah pembangkit melalui pipa pesat (*penstock*). Desain bangunan intake dibuat dengan harus memperhatikan tingkat permukaan air pada saat debit minimum. Berdasarkan kondisi topografi sungai Seinjing, maka bangunan pengambilan ditempatkan di sebelah kanan aliran sungai.

Dengan memanfaatkan bangunan pengambilan yang telah ada, maka dilakukan perhitungan ulang seperti berikut:

Bangunan Pengambilan

Bentuk	= persegi panjang
b	= 1.8 m
h	= 1 m
Q	= 1.65 m ³ /detik
V	= $Q/(b.h)$
	= 0.9 m/detik (diijinkan)

Oleh karena kecepatan yang dihasilkan adalah 0.9 m/detik maka saluran tersebut sudah memenuhi prasyarat, yaitu tidak lebih dari kecepatan kritis.

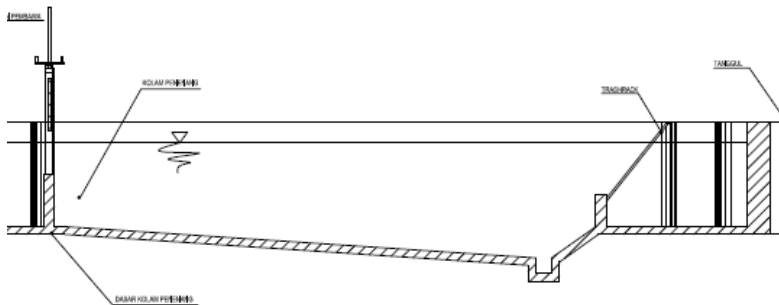
Bangunan pengambilan ini dilengkapi dengan pintu air serta *trashrack* kasar untuk menyaring sampah terapung. Keberadaan *trashrack* di sini sangat penting karena air yang dialirkan menuju turbin harus terbebas dari sampah terapung dan sedimen. *Trashrack* pada bangunan pengambilan merupakan *trashrack* pertama dalam layout PLTMH sehingga *trashrack* ini dirancang dengan plat besi berjarak 3 cm. Oleh karena letak bak pengendap berada langsung setelah bangunan pengambilan maka tidak diperlukan saluran pengarah.

4.5 Perancangan Bak Pengendap

Bak pengendap pada PLTMH ini berfungsi sebagai pengendap sedimen. Hal yang terpenting dalam saluran ini adalah sedimen harus dapat mengendap sebelum mencapai ujung saluran. Untuk dapat mengendapkan sedimen, bak pengendap dilengkapi dengan penangkap pasir.

Butiran sedimen yang masuk dalam bangunan pengendap sedimen, dengan kecepatan endap sedimen “ w ” dan kecepatan air “ v ” harus mencapai titik C. Sehingga butiran sedimen tersebut akan berjalan selama waktu H/V , yang diperlukan untuk mencapai dasar, untuk selanjutnya bergerak atau bergulir sepanjang L dalam waktu L/v .

Desain penangkap pasir adalah sebagai berikut :



Gambar 4. 8 Bak pengendap

Cara kerja penangkap pasir ialah dengan cara membuat aliran berkecepatan rendah sehingga dapat dihitung kecepatan turun butir sedimen. Hal yang berpengaruh ialah ukuran butir sedimen dan masa jenis pelarut. Dari data tersebut dapat dihitung kecepatan turun sedimen serta panjang minimal saluran agar sedimen dapat mengendap.

Perhitungan panjang minimum bak pengendap dapat memakai persamaan (2.3). Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$d = 0.7 \text{ mm}$$

$$a = 44$$

$$v = a\sqrt{d}$$

$$= 0.36 \text{ m/detik}$$

Maka kecepatan di bak pengendap tidak boleh lebih dari 0.36 m/detik, direncanakan kecepatannya adalah 0.3 m/detik.

$$Q = 0.825 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$b = 2.6 \text{ m (direncanakan)}$$

$$h = 1.6 \text{ m (direncanakan)}$$

$$w = 0.08 \text{ m/detik (dari grafik)}$$

maka,

$$\begin{aligned} L &= h \frac{v}{w} \\ &= 1.6 \frac{0.3}{0.08} \\ &= 6 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{Q}{h.v} \\ &= \frac{0.825}{1.6 \times 0.3} \\ &= 1.71 \text{ m} \end{aligned}$$

Oleh karena L dan b yang direncanakan sudah melebihi L dan b minimum, maka desain tersebut sudah memenuhi syarat. Dalam perhitungan tersebut, debit yang dipakai adalah $0.825 \text{ m}^3/\text{detik}$, hal ini dikarenakan saluran dibagi menjadi dua lajur sehingga masing-masing lajur dialiri setengah debit total. Pembagian seperti ini dilakukan untuk rekayasa pengoperasian, yaitu ketika satu lajur dikuras maka air tetap dapat mengalir melalui lajur yang satunya dan PLTMH tetap dapat beroperasi. Untuk dapat mengatur aliran, maka ditempatkan pintu air di hulu lajur saluran.

Selanjutnya, diujung bak pengendap terdapat *trashrack* yang kedua. *Trashrack* ini memiliki jarak yang lebih rapat dari yang pertama, yaitu berjarak 1cm. *Trashrack* yang kedua ini berfungsi untuk menyaring sampah melayang yang masih tertinggal.

Pemasangannya harus dapat menutup semua luasan basah air, untuk lebih efisien maka dapat dibeti pasangan batu di bawah *trashrack* untuk mengurangi panjang totalnya agar lebih efektif.

4.6 Perancangan *Penstock*

Pipa pesat adalah pipa bertekanan yang mengalirkan air dari bak penenang (*sandtrap*) langsung ke intake turbin. Penempatan pipa pesat dapat di atas permukaan tanah atau di dalam tanah, untuk penempatan pipa di dalam tanah akan menjaga tekanan air yang ada di dalam pipa dari perubahan suhu matahari dan hujan.

Bilamana pemasangan pipa dilakukan di atas permukaan tanah maka diperlukan konstruksi blok angker dan struktur pendukung sebagaiudukan pipa pesat untuk menahan beban pipa dan air di dalamnya.

Pipa pesat (*penstock*) adalah pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penenang (*forebay tank*). Perencanaan pipa pesat mencakup pemilihan material, diameter *penstock*, tebal dan jenis sambungan (*coordination point*). Diameter pipa pesat dipilih dengan pertimbangan keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material dan tingkat rugi-rugi (*friction losses*) seminimal mungkin. Ketebalan *penstock* dipilih untuk menahan tekanan hidrolik dan surge pressure yang dapat terjadi.

Diameter dan panjang pipa *penstock* ditentukan berdasarkan debit aliran yang akan mengalir pada pipa *penstock* tersebut di mana dalam penentuan diameter dan panjang pipa *penstock* tersebut mempertimbangkan beberapa hal yakni keamanan, kemudahan proses pembuatan, ketersediaan material, tingkat rugi-rugi yang seminimal mungkin dan nilai ekonomis dari pipa *penstock* tersebut, dimana pipa yang memiliki diameter lebih besar memiliki tingkat rugirugi yang lebih minim dikarenakan kecepatan aliran air lebih kecil namun pipa *penstock* dengan ukuran diameter yang lebih

besar ukurannya sangat besar, berat dan harganya lebih tinggi. Sedangkan untuk pipa yang memiliki diameter lebih kecil harganya lebih murah namun memiliki tingkat rugi yang lebih besar.

4.6.1 Perancangan Dimensi *Penstock*

Untuk mendapatkan diameter pipa pesat dapat dihitung dengan persamaan (2.5). Perhitungannya adalah seperti berikut:

$$\begin{aligned} \text{Diameter pipa:} \quad d &= 2.69 \left[\frac{(n^2 \times Q^2 \times L)}{H} \right]^{0.1875} \\ &= 0.65 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Kecepatan dalam pipa } V = Q/A = \frac{1.65}{\left(\frac{0.65}{2}\right)^2 \pi^2} = 5.27 \text{ m/detik}$$

dipakai $D = 0,65 \text{ m}$.

Sehingga $V = 5.27 \text{ m/det}$

4.6.2 Tebal dan Material *Penstock*

Penstock yang akan digunakan terbuat dari besi,. Sesuai dengan pedoman teknis maka tebal *penstock* yang dipakai adalah 1.5 mm. dengan ketebalan dan material seperti itu, *penstock* sudah mampu mengendalikan air karena panjang *penstock* keseluruhan yang hanya 7 m dan beda tinggi sebesar 3.5 m.

4.6.3 Kehilangan Energi

Kehilangan energi pipa dihitung untuk mencari tinggi jatuh efektif. Kehilangan energi pipa yang utama disebabkan oleh belokan pipa. Belokan pipa menyebabkan kehilangan energi yang mempunyai koefisien sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Tabel koefisien kehilangan energi akibat belokan

α	5	10	15	30	45	50	90
δ	0,02	0,04	0,05	0,15	0,28	0,55	1,2

Dari desain pipa pesat PLTMH, diketahui terdapat 2 sudut belokan dengan besar masing-masing 50°. Dengan demikian maka koefisien kehilangan energi adalah sebesar 0.55. perhitungan kehilangan energi dihitung dengan rumus:

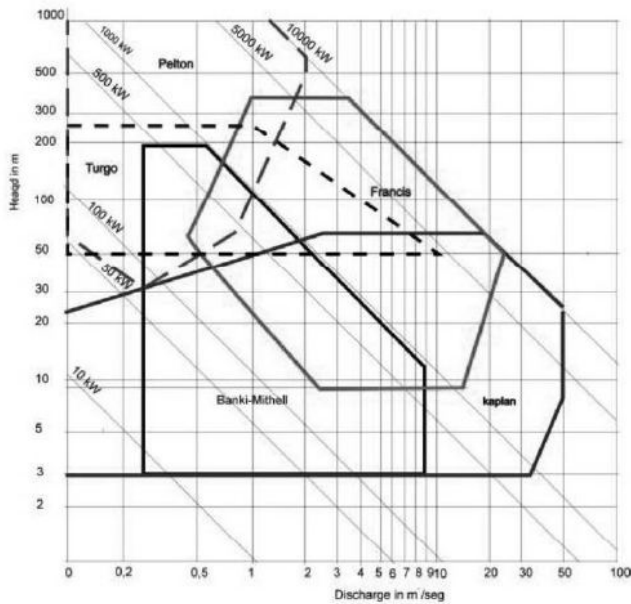
$$\Delta h = K \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Maka didapatkan Δh sebesar 0.94 m. Kemudian tinggi jatuh kotor dikurangi dengan kehilangan energi untuk mendapatkan tinggi jatuh efektif. Maka didapat tinggi jatuh efektif sebesar 2.56 m.

4.7 Pemilihan Turbin

Turbin Pemilihan turbin ini berhubungan erat dengan jenis generator yang akan mengubah tenaga air menjadi listrik serta tinggi jatuh air dan debit air. Untuk tinggi jatuh air yang di peroleh dari hasil perhitungan itu setinggi 3.5 m dan debit air sebesar 1.65 m³/s . Maka dari data tersebut bias di katakana turbin propeller dianggap cocok untuk kondisi sungai Serinjing di mana tinggi head yang di pakai untuk tubin propeller ini 2<H<20 (m).

Turbin propeller dipilih karena memenuhi kriteria debit dan head. Batas head untuk turbin propeller adalah 3-70 m, dan batas debitnya adalah 50 m³/detik.



Gambar 4. 9 Grafik pemilihan turbin

Daya turbin yang dihasilkan oleh debit sebesar $1.65 \text{ m}^3/\text{s}$ dari sungai Serinjing di Kediri dengan head 3.5 meter ini dapat di hitung dengan efisiensi turbin propeller sebesar 0.8-0.9 (dipakai 0.8). Selanjutnya koefisien tersebut digunakan untuk menghitung daya total terbangkit.

4.8 Perhitungan Daya dan Energi

Potensi daya terbangkitkan dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro ini merupakan besar daya yang terbangkit yang memperhitungkan semua efisiensi komponen pembangkit dari debit, turbin dan generator.

Untuk perhitungan besar potensi daya yang terbangkit itu sendiri dengan melihat tinggi head, debit dan efisiensi dari

komponen komponen mekanik dan elektrik yang diperkirakan cocok untuk kondisi sungai Serinjing yang digunakan untuk pembangunan PLTMH.

Daya keseluruhan yang dapat dibangkitkan dihitung dengan mengalikan semua efisiensi turbin dan generator. Dihitung dengan menggunakan persamaan (2.11) dengan efisiensi yang dipertimbangkan adalah efisiensi turbin dan generator.

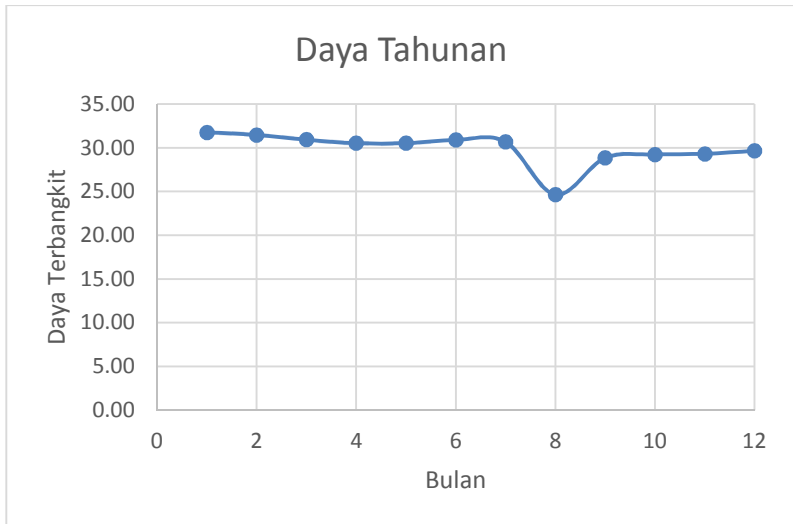
$$P = Q \times H \times 9.8 \times \mu(\text{turbin}) \times \mu(\text{generator})$$

$$P = 1.65 \times 2.56 \times 9.81 \times 0.8 \times 0.9$$

$$P = 29.87 \text{ kW}$$

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan daya per bulan

Keterangan	Satuan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Rata- Rata Tahunan
Debit Pintu														
Waduk Siman	m ³ /detik	2.20	2.18	2.14	2.11	2.11	2.14	2.12	1.70	1.99	2.02	2.03	2.05	2.07
Debit PLTMH	m ³ /detik	1.76	1.74	1.71	1.69	1.69	1.71	1.70	1.36	1.60	1.62	1.62	1.64	1.65
Daya Terbangkit	kW	31.76	31.46	30.92	30.52	30.52	30.89	30.67	24.63	28.84	29.23	29.31	29.66	29.87



Gambar 4. 10 Grafik daya terbangkit per bulan

Berikut adalah hasil perhitungan daya terbangkit rata-rata per bulan:

Tabel 4. 4 Tabel perhitungan daya bulanan

Keterangan	Besaran	Satuan
Debit	1.65	m ³ /detik
Head	2.56	m
E. Turbin	0.8	
E. Generator	0.9	
Gravitasi	9.81	m ² /detik ²
Daya Terbangkit	29.87	kW

Dari hasil perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa daya yang mungkin dihasilkan oleh PLTMH Kepung adalah sebesar 29.8 kW.

4.9 Operasional PLTMH

Pengoperasian PLTMH adalah langkah kerja PLTMH agar dapat berfungsi optimal. Pengoperasian tersebut memperhatikan kelangsungan daya yang dihasilkan, kapasitas alat dan ketahanan terhadap bencana. Secara prinsip, PLTMH harus sebisa mungkin dapat bekerja terus-menerus. Untuk dapat bekerja dengan optimal maka diperlukan pengoperasian PLTMH.

Operasional PLTMH adalah sebagai berikut:

- air masuk melalui pintu intake yang telah disaring di *trashrack* terlebih dahulu.
- Kemudian air dialirkan menuju bak penenang.
- Aliran dibagi menjadi 2 lajut, dan masing-masing saluran mempunyai penangkap pasir
- Sedimen diendapkan di saluran penangkap pasir
- Air disaring kembali dengan *trashrack* yang lebih halus
- Air mengalir menuju ruang penstock yang dilengkapi *trashrack* yang lebih halus lagi
- Air mengalir ke *penstock* menuju turbin
- Air menggerakkan turbin dan keluar menuju saluran pembuang
- Rekayasa operasional dilakukan di pintu intake untuk mengontrol debit yang masuk
- Kemudian bak pengendap mempunyai dua lajur agar ketika yang satu sedang dibersihkan maka air tetap dapat mengalir melalui lajur yang satunya

- Pintu penguras pasir secara berkala dikuras dan dalirkan menuju saluran pembuangan
- Bak pengendap dilengkapi pelimpah untuk mengantisipasi debit bajir yang mungkin terjadi
- Semua saluran pembuang dialirkan menuju hilir sungai
-

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Hasil dari analisa pada tugas akhir terapan ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Debit andalan yang dapat digunakan pada PLTMH Kepung adalah debit 80% sebesar $1.65 \text{ m}^3/\text{detik}$.
2. Tinggi jatuh efektif yang dapat dimanfaatkan PLTMH Kepung adalah sebesar 2.56 m.
3. *Penstock* yang digunakan adalah berbahan besi dengan ketebalan 1.5 mm. Panjang *penstock* keseluruhan adalah 7 m dan diameter 0.65 m
4. Turbin yang dipilih adalah turbin Propeller dengan pertimbangan debit dan head yang ada serta mempunyai efektifitas 0.8
5. Daya total yang mungkin dihasilkan oleh PLTMH Kepung adalah sebesar 29.87 kW
6. Desain bangunan sipil PLTMH Kepung dapat dilihat pada gambar terlampir

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian, penulis mempunyai beberapa saran agar ke depannya penelitian ini dapat dikembangkan lebih baik lagi, yaitu:

1. Hendaknya pelaksanaan pembangunan PLTMH ke depannya dilakukan dengan normalisasi sungai terlebih dahulu agar perhitungan dapat lebih tepat.

2. Hendaknya PLTMH dikelola dan dilakukan pemeriksaan berkala agar dapat mengantisipasi masalah yang meyebabkan kerusakan PLTMH.

DAFTAR PUSTAKA

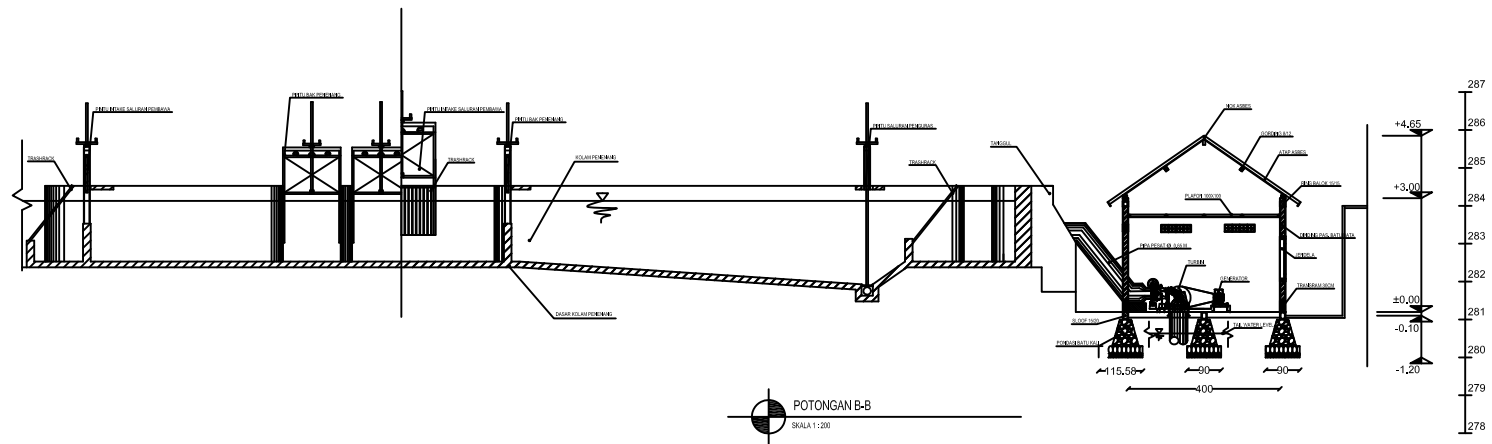
- Dandekar, MM., dan Sharma, KN. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- IMIDAP, T. (2008). *Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Jakarta: Ditjen Listrik dan Pemanfaatan Energi DESDM.
- Montarcih, Lily. 2010. *Hidrologi Praktis*. CV. Lubuk Agung. Bandung.
- Nasir Bilal Abdullah. 2013. "Design of Micro - Hydro - Electric Power Station", International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-5.
- Patty, OF. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga.


BIODATA PENULIS

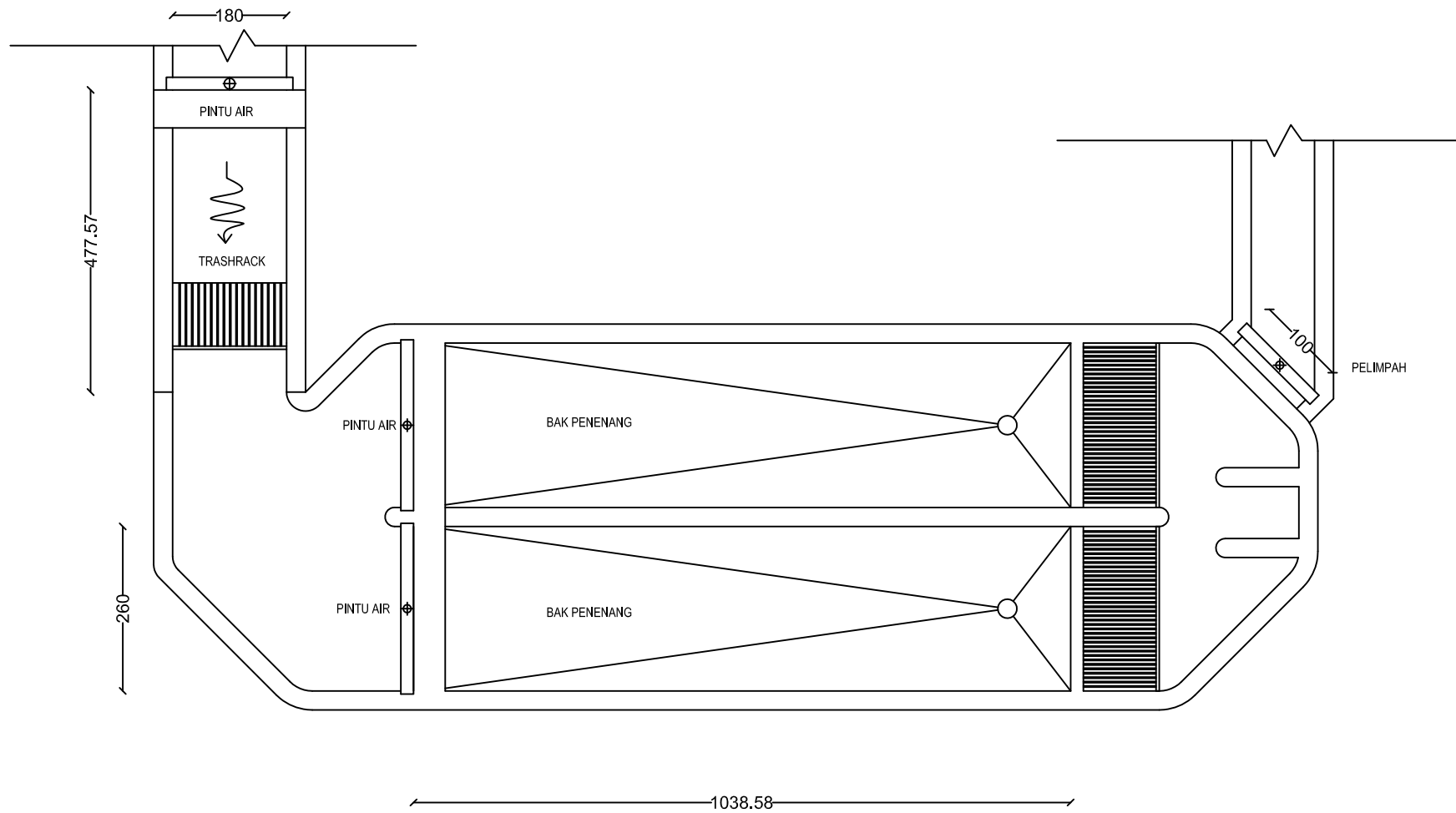



Nashrul Ma'ali lahir di Kudus, 1 Maret 1994, merupakan anak ke-enam dari enam bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD 01 Getassrabi, Madrasah Tsanawiyah Ma'ahid Kudus, Madrasah Aliyah Ma'ahid Kudus. Setelah lulus tahun 2011, Penulis mengikuti ujian masuk Diploma III Teknik Sipil ITS dan diterima tahun 2012, lalu terdaftar dengan NRP 3112.030.121. Di jurusan Diploma III Teknik Sipil ini penulis mengambil bidang studi Bangunan Air. Penulis mempunyai minat lebih pada bidang konversi energi. Penulis juga aktif dalam beberapa kegiatan seminar dan pelatihan yang diselenggarakan oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember serta yang diselenggarakan oleh instirusi lain. Penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kampus. Selain itu penulis juga aktif dalam berbagai kepanitiaan di beberapa kegiatan yang ada selama menjadi mahasiswa di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.


LAMPIRAN

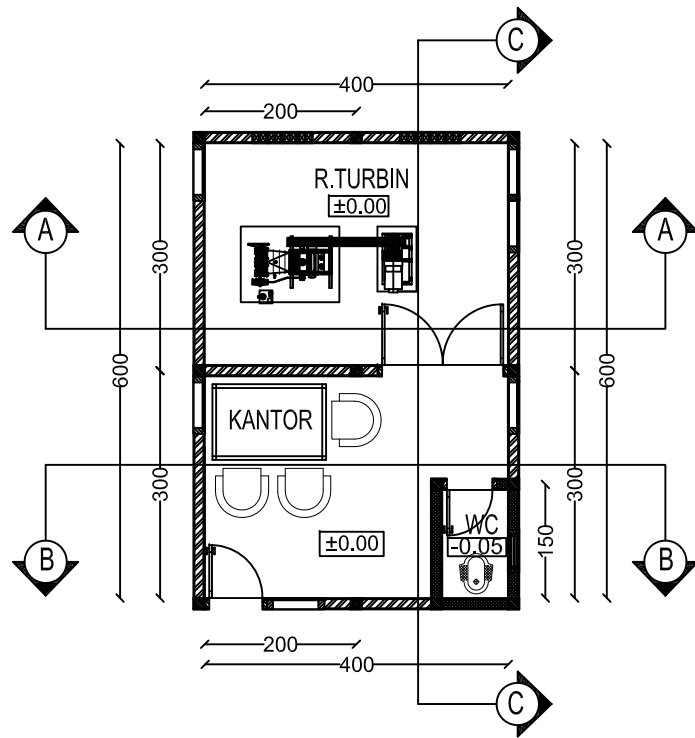


 <p>DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS VOKASI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017</p>		Judul Gambar	
		Potongan	
Judul Proyek Akhir		Dosen Pembimbing	Mahasiswa
PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI		<u>Ir. Edy Sunirman, MT.</u> NIP. 19581212 198701 1 001	<u>Nashrul Maall</u> NRP. 312030099



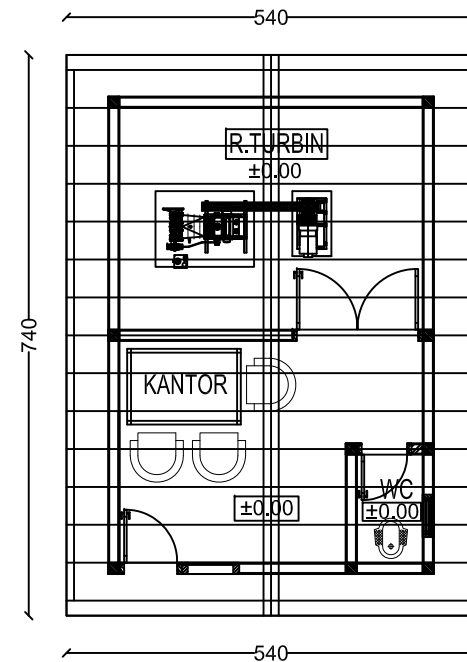

DENAH BAK PENENANG
 SKALA 1 : 100

 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS TEKNIK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017		Judul Gambar	
		Denah Bak Penenang	
Judul Proyek Akhir		Dosen Pembimbing	Mahasiswa
		Ir. Edy Sunirman, MT NIP. 195812112 198701 1 001	Nashrul Maall NRP. 3112030099
PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI			



DENAH POWER HOUSE

SKALA 1 : 100




TAMPAK ATAS POWER HOUSE

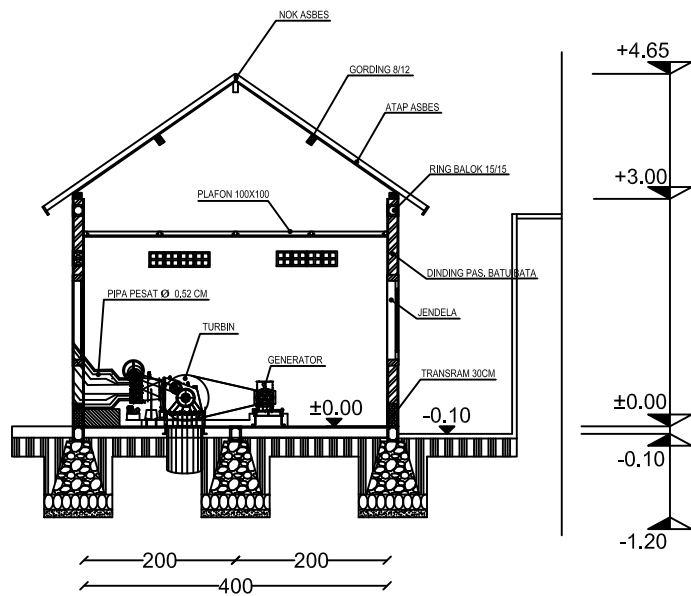
SKALA 1 : 100



DENAH POWER HOUSE DAN TAMPAK ATAS

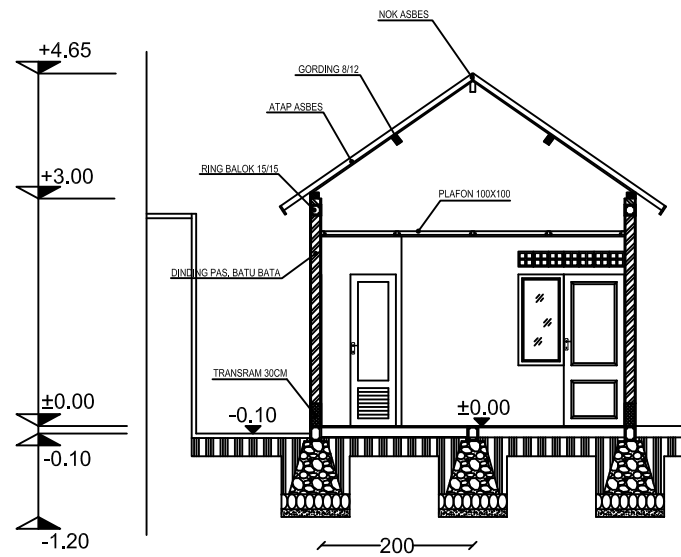
SKALA 1 : 100

 <p>DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS TEKNIK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017</p>		Judul Gambar	
Judul Proyek Akhir		Denah Power House dan Tampak Atas	
PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI		Dosen Pembimbing	Mahasiswa
		Ir. Edy Sunirman, MT NIP. 195812112 198701 1 001	Nashrul Maall NRP. 3112030099




POTONGAN A-A

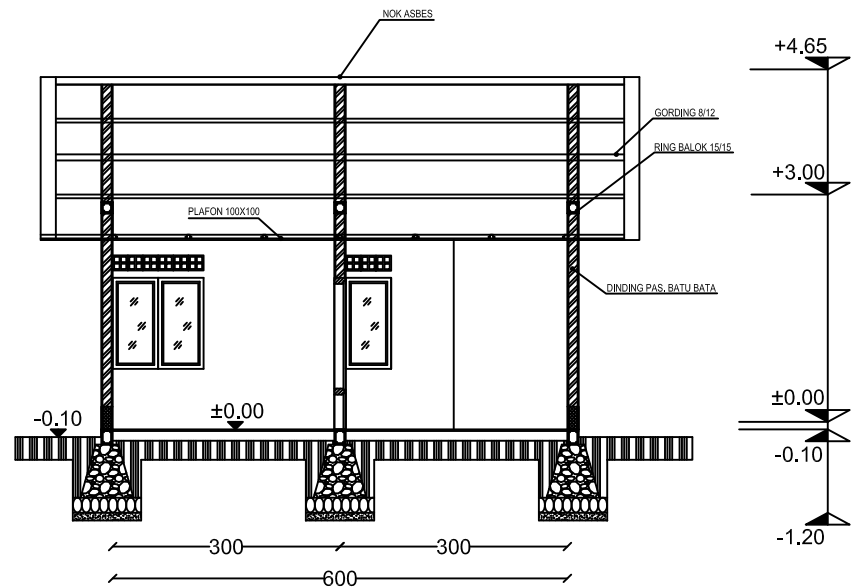
SKALA 1 : 100



POTONGAN B-B


SKALA 1 : 100

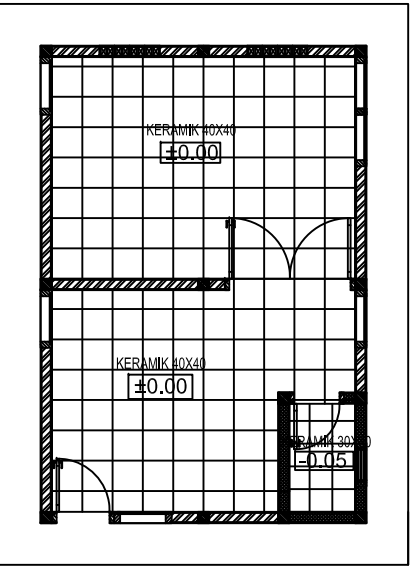
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS TEKNIK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017		Judul Gambar	
Judul Proyek Akhir		Potongan Power House	
PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI		Dosen Pembimbing	Mahasiswa
		Ir. Edy Sunirman, MT NIP. 19581212 198701 1 001	Nashrul Maall NRP. 3112030099



POTONGAN C-C

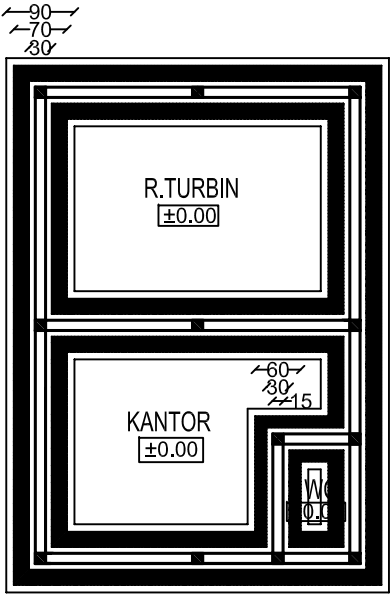
SKALA 1 : 100

 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS VOKASI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017		Judul Gambar	
Judul Proyek Akhir		Potongan Power House	
PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI		Dosen Pembimbing	Mahasiswa
		Ir. Edy Sunirman, MT NIP. 195812112 198701 1 001	Nashrul Maall NRP. 3112030099




RENCANA PAS. KERAMIK

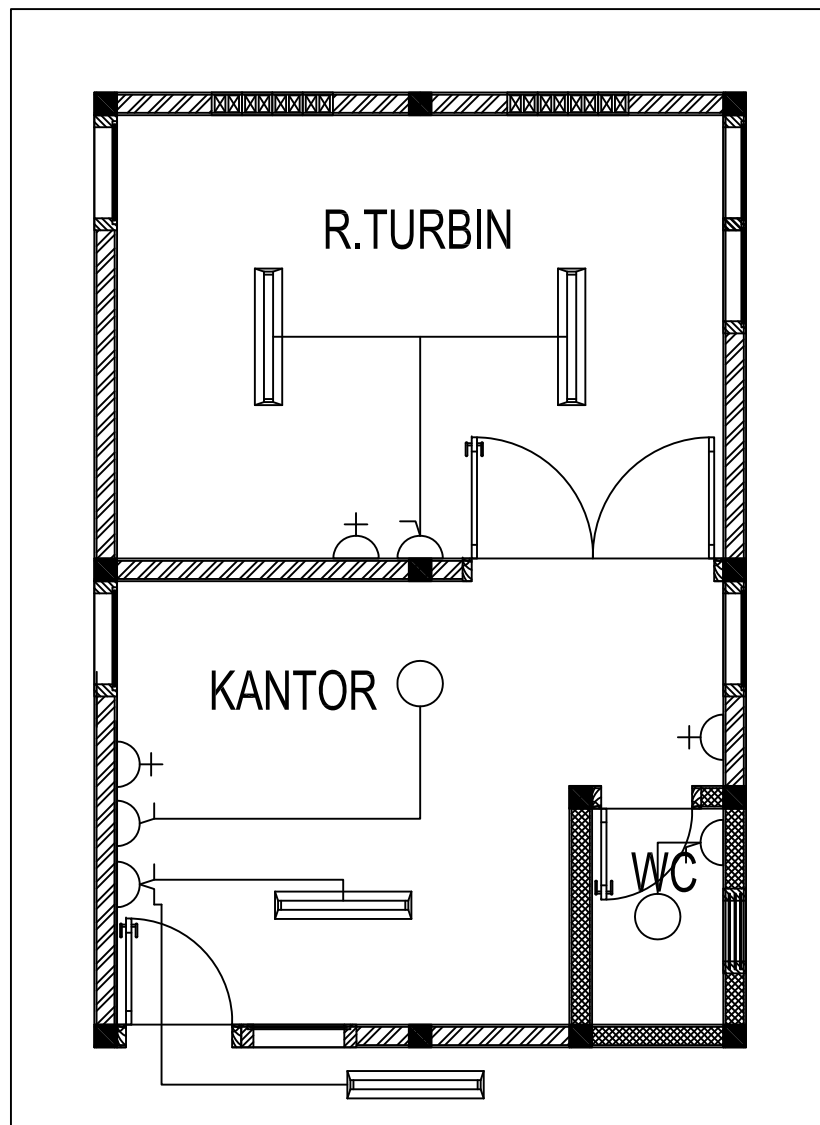
SKALA 1 : 100



RENCANA PAS. PONDASI


SKALA 1 : 100

 <div>DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS TEKNIK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017</div>		Judul Gambar Denah Keramik dan Pondasi Power House	
Judul Proyek Akhir PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI		Dosen Pembimbing Ir. Edy Sunirman, MT NIP. 195812112 198701 1 001	Mahasiswa Nashrul Maall NRP. 3112030099



RENCANA PAS. TITIK LAMPU

SKALA 1 : 50

<div>  <div> DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL FAKULTAS TEKNIK INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA 2017 </div> </div>		Judul Gambar	
Judul Proyek Akhir		Rencana Lampu	
PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) KEPUNG KABUPATEN KEDIRI		Dosen Pembimbing	Mahasiswa
		Ir. Edy Sunirman, MT NIP. 195812112 198701 1 001	Nashrul Maall NRP. 3112030099